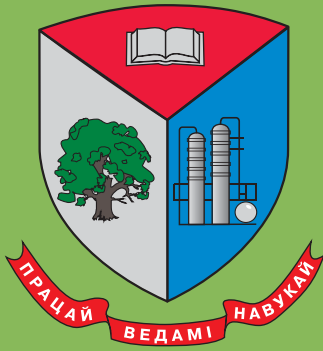


ISSN 2519-402X



ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 1 (204) 2018 год

Рубрики номера:

Управление лесами, лесоустройство
и информационные системы
в лесном хозяйстве

Лесовосстановление и лесоразведение

Лесозащита и садово-парковое строительство

Деревообрабатывающая промышленность

Общеинженерные вопросы
лесопромышленного комплекса

Минск 2018

Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Издается с июля 1993 года

Серия 1

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

№ 1 (204) 2018 год

Выходит два раза в год

Минск 2018

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

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

Редакционная коллегия журнала:

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

Редакционная коллегия серии:

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

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

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

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

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

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

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

Educational institution
“Belarusian State Technological University”

PROCEEDINGS OF BSTU

Scientific Journal

Published monthly since July 1993

Issue 1

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

No. 1 (204) 2018

Published biannually

Minsk 2018

Publisher – educational institution “Belarusian State Technological University”

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

Editorial (Journal):

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

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

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

managing editor (+375 17) 327-22-51.

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

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

УДК 630*524.4

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

КАРТИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ ЛЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ И ОБЪЕКТОВ ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МЕРОПРИЯТИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ И ГИС-ТЕХНОЛОГИЙ

В статье показана возможность использования материалов космической съемки Sentinel-2 для картирования поврежденных лесных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий. В качестве программной платформы для оценки поврежденных лесных насаждений применялись геоинформационные системы с рядом дополнительных программных модулей. Выполнен подбор космических снимков на территорию объекта исследования и их предварительная обработка. Проанализирована классификация вегетационных индексов и осуществлен их предварительный подбор. Рассчитаны спектральные индексы и выбраны оптимальные – EVI, WDRVI, RENDVI, NDWI, PSRI, DMCI, NBR. Проведено дешифрирование многозональных космических снимков Sentinel-2. Растровые изображения спектральных индексов были классифицированы с использованием кластерного метода автоматической классификации Isocluster. Полученные растры векторизовались и выполнялось картирование территории поврежденных лесных насаждений ГЛХУ «Смолевичский лесхоз». Осуществлены анализ и проверка точности картирования, полученной на основе обработки данных векторных слоев индексов в сравнении с полевыми данными – векторным слоем поврежденных лесных насаждений, определены наиболее подходящие спектральные индексы для целей картирования.

Ключевые слова: космическая съемка, Sentinel-2, вегетационный индекс, картирование, поврежденные насаждения, геоинформационная система, кластерный метод.

N. Ya. Sidel'nik, A. A. Pushkin, S. V. Kovalevskiy
Belarusian State Technological University

MAPPING OF DAMAGED FOREST STANDS AND OBJECTS OF FORESTRY MEASURES USING SATELLITE IMAGERY AND GIS-TECHNOLOGIES

In the article are given the possibility of using satellite imagery of Sentinel-2 for mapping damaged forest stands and forestry measures. The software platform for assessing damaged forest stands were geographic information systems with additional software plugins. The selection Space images on the territory of the research object are selected and their preliminary processing is made. The classification of vegetative indices is analyzed and their preliminary selection is carried out. The spectral indices are calculated and the optimal ones are chosen – EVI, WDRVI, RENDVI, NDWI, PSRI, DMCI, NBR. The deciphering of multi-zone space images of Sentinel-2 has been made. Raster images of spectral indices were classified using the Isocluster automatic classification method. Resulting rasters were vectorized and the mapping of the damaged forest stands of the Smolevichi Forestry was carried out. The analysis and verification of the accuracy of the mapping are made on the basis of the received vector index layers data in comparison with the field data – a vector layer of damaged forest stands. The most suitable spectral indices for mapping purposes are identified.

Key words: satellite imagery, Sentinel-2, vegetation index mapping, damaged forest stands, geographic information system, cluster method.

Введение. В настоящее время новым этапом в развитии методов дешифрирования лесных ландшафтов, обнаружения произошедших

биотических и абиотических изменений являются методы, основанные на цифровой обработке космических изображений, которые уменьшают тру-

доемкость и увеличивают степень объективности дешифрирования по сравнению с визуальными методами. Многие из них позволяют выявить особенности изменений не только на качественном, но и количественном уровне [1].

В связи с этим важна оценка применимости при картировании поврежденных лесных насаждений метода вегетационных (спектральных) индексов, который получает все большее распространение. Данные индексы, предназначенные для характеристики того или иного фактора влияния на экологическую обстановку в расстроенных лесных насаждениях, можно использовать как по отдельности, так и в совокупности рассчитанных индексов, что дает дополнительную информацию, недоступную при использовании каждого из данных индексов по отдельности.

Летом в 2016 г. на территории ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» произошли масштабные изменения в лесном фонде, связанные с ветровалами, для оценки которых могут использоваться снимки, полученные с космического аппарата Sentinel-2. Их можно применить для решения множества задач лесного хозяйства. Известно, что после ветровалов на данных участках уменьшается количество хлорофилла, что позволяет использовать «зеленые» вегетационные индексы; увеличивается количество отмершей древесины, что дает возможность применять индексы, связанные с наличием лигнина, а также образуются территории, сходные по структуре с вырубками и гарями. С учетом этих факторов основное внимание при расчете спектральных индексов делалось на индексы, характеризующие зеленую биомассу и наличие отмершей древесины и не покрытой лесом площади.

Основная часть. Для картирования поврежденных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» использовались данные дистанционного зондирования космического аппарата Sentinel-2, первого мультиспектрального спутника, включающего 3 спектральных канала на «красной границе», которые открывают большие возможности для изучения растительности, так как данные каналы очень чувствительны к наличию хлорофилла в растениях. Съёмочная аппаратура спутника Sentinel-2 позволяет получать мультиспектральные изображения в 13 каналах, от видимого до коротковолнового инфракрасного излучения, с разрешением от 10 до 60 м и шириной полосы съёмки 290 км [2]. Данное разрешение на основных каналах превышает разрешение спутника Landsat-8 до 3 раз, что позволяет более точно оценить наличие измене-

ний в лесном фонде и решать множество других задач лесного хозяйства по мониторингу окружающей среды.

Уникальность Sentinel-2 связана с сочетанием большого территориального охвата, частых повторных съёмок (2–3 дня) и, как следствие, систематическим получением полного покрытия всей республики мультиспектральной съёмкой высокого разрешения [2].

Методика картирования поврежденных лесных насаждений на основе использования спектральных вегетационных индексов включает в себя следующие этапы:

- подбор космических снимков на территорию объекта исследования и их предварительная обработка;
- анализ фактических данных по произошедшим изменениям, предварительный выбор индексов;
- расчет спектральных индексов и выбор оптимальных;
- дешифрирование многозональных космических снимков Sentinel-2 и их предварительная классификация;
- векторизация полученной классификации;
- картирование территории поврежденных лесных насаждений;
- анализ и проверка точности картирования, полученной на основе обработки данных слоев индексов.

В представленной работе использовался снимок высокого разрешения Sentinel-2 от 22.08.16, полученный на большую часть территории ГЛХУ «Смолевичский лесхоз». Вся обработка данных проводилась с применением ГИС-технологий.

На начальном этапе необходимо определить те спектральные вегетационные индексы, которые наиболее оптимально подходят для дешифрирования поврежденных лесных насаждений. Спектральные индексы группируют в категории по свойству растительности, которое они характеризуют [1, 3–14]:

1. Broadband Greenness – индексы «зелености», которые отражают общее количество растительности и используются для оценки ее состояния. Они суммируют и отражают влияние содержания хлорофилла в растениях, площадь листовой поверхности, сомкнутость и структуру растительного покрова и хорошо коррелируют с индексом фотосинтетически активной радиации и индексом листовой поверхности (LAI) [1, 3, 4].

Основное назначение этих индексов – картирование растительного покрова, выявление площадей покрытых и не покрытых растительностью участков, оценка и мониторинг состояния растительного покрова, оценка продуктивности и урожайности [1, 3, 4].

2. Narrowband Greenness – индексы «зелености», которые также отражают общее количество и состояние растительности, как и индексы Broadband Greenness. Отличие в том, что для расчетов этих индексов используется область ближнего инфракрасного канала (красная граница «red edge»), что позволяет фиксировать даже небольшие изменения состояния растительности [1, 4].

3. Light Use Efficiency – индексы, учитывающие соотношение между различными типами пигментов для оценки общей эффективности использования света, с которой растительность способна использовать поступающий свет для фотосинтеза. Они хорошо коррелируют с эффективностью усвоения углерода и активностью роста, а также тесно связаны с поглощением фотосинтетически активной радиации [1, 4].

4. Canopy Nitrogen – индексы содержания и концентрации азота в растительном покрове, который входит в состав белков, хлорофилла и многих других органических соединений. При азотном голодании листья приобретают бледно-зеленую окраску, мельчают, уменьшается ветвление побегов. При избытке азота усиливается рост, ткани образуются рыхлые, цветение задерживается [1, 4].

5. Dryor Senescent Carbon – индексы, учитывающие содержание «сухого» углерода в виде лигнина и целлюлозы. Такой углерод в больших количествах присутствует в древесине и мертвых или сухих растительных тканях, увеличение этих показателей может отражать процесс «старения» или отмирания растений [1, 4].

6. Leaf Pigments – индексы содержания пигментов каротиноидов и антоцианина, которые характерны для растений в стрессовом состоянии и наблюдаются в значительных количествах у угнетенной растительности. Применяются для мониторинга состояния и оценки урожайности. Часто индексы могут показать стрессовое состояние растительности еще до того, как оно будет заметно «невооруженным глазом» [1].

7. Canopy Water Content – индексы для оценки содержания влаги в растениях и оценки сухости [1], так как высокое содержание влаги характерно для здоровой растительности, которая быстрее растет и более устойчива к отмиранию.

Для картирования поврежденных лесных насаждений были выбраны спектральные индексы, включающие все группы, за исключением Leaf Pigments, поскольку рассчитывались индексы «зелености» и Light Use Efficiency.

Расчет большей части вегетационных индексов базируется на двух наиболее стабильных (не зависящих от прочих факторов) участках кривой спектральной отражательной спо-

собности растений – на красную зону спектра приходится максимум поглощения солнечной радиации хлорофиллом, а на ближнюю инфракрасную зону максимальное отражение энергии клеточной структурой листа. Хорошо известно, что отношение этих показателей друг к другу позволяет четко отделять растительность от прочих природных объектов.

Для анализа наличия и картирования поврежденных лесных насаждений чаще всего применяется нормализованный дифференциальный вегетационный индекс (NDVI) [1, 4], который широко используется для мониторинга фенологии, количества и активности растительности. Как отмечено в работах многих авторов, чувствительность NDVI к фоновому отражению, а также склонность к насыщению в широколиственных насаждениях ограничивает использование этого индекса для изучения породного разнообразия. Поэтому в качестве альтернативы применялся для расчетов усиленный вегетационный индекс (EVI), который менее чувствителен к ограничениям, но требует наличия синего диапазона длин волн. При этом он позволяет выделить больше градиций в районах с высокой зеленой биомассой, что дает преимущества для мониторинга растительности, поскольку влияние почвы и атмосферы в значениях данного индекса минимизировано [1, 4]:

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

где B_{NIR} , B_{RED} , B_{BLUE} – цифровые значения пикселей инфракрасного, красного и синего каналов космического снимка.

Космические снимки Sentinel-2 включают каналы на «красной границе», которые очень чувствительны к наличию хлорофилла в растительности, поэтому были рассчитаны индексы, учитывающие данную особенность: модернизированный спектральный индекс RENDVI и для повышения точности – расширенный индекс WDRVI, который является модификацией индекса NDVI [1]:

$$RENDVI = \frac{B_{NIR} - B_{RE}}{B_{NIR} + B_{RE}}; \quad (2)$$

$$WDRVI = \frac{0,1 \cdot B_{NIR} - B_{RED}}{0,1 \cdot B_{NIR} + B_{RED}}, \quad (3)$$

где B_{RE} – цифровые значения пикселей ближнего красного канала «red edge» космического снимка.

При стихийных бедствиях чаще всего происходит полная гибель растения, оно резко теряет влагу и вянет, поэтому целесообразно использовать спектральный индекс, учитывающий влажность растений, – нормализованный разностный

водный индекс NDWI, определяется как отношение разности и суммы коэффициентов поглощения B_{NIR} и B_{SWIR} каналов:

$$NDWI = \frac{B_{NIR} - B_{SWIR}}{B_{NIR} + B_{SWIR}}. \quad (4)$$

При ветровалах появляется большое количество отмерших и отмирающих частей, а следовательно, увеличивается количество огрубевшего углерода, которое может быть учтено индексом PSRI:

$$PSRI = \frac{B_{RED} - B_{GREEN}}{B_{NIR}}, \quad (5)$$

где B_{GREEN} – цифровые значения пикселей зеленого канала космического снимка.

При наличии поврежденных лесных насаждений возможно нарушение водного режима и образование сухих участков, особенно в солнечную погоду. Для анализа данных условий и определения стрессового состояния насаждений был использован индекс сухости DMCI:

$$DMCI = \frac{B_{SWIR_3} - B_{SWIR_2}}{B_{SWIR_3} + B_{SWIR_2}}, \quad (6)$$

где B_{SWIR_3} и B_{SWIR_2} – цифровые значения пикселей в диапазоне отражения в средней инфракрасной области спектра.

Существуют также спектральные индексы, которые используются в процессе определения границ потенциальных лесных гарей, вырубок и потенциально – ветровалов. Биофизической предпосылкой для применения индекса при оценке поврежденных насаждений является сопоставление отражений от неповрежденной и поврежденной растительности.

В связи с этим выполнен расчет нормализованного разностного индекса гарей (NBR), так как его использование основывается на максимальном отражении неповрежденной растительности:

$$NBR = \frac{B_{NIR} - B_{SWIR_3}}{B_{NIR} + B_{SWIR_3}}. \quad (7)$$

Также при проведении исследований по поиску наиболее оптимальных спектральных индексов для дешифрирования поврежденных лесных насаждений рассчитывались и другие спектральные индексы. Однако при первичной визуальной обработке они показали большой разброс данных при сравнении их с векторизованными специалистами РУП «Белгослес» границами участков ветровалов в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз».

После создания растровых изображений спектральных индексов и проведения визуаль-

ного анализа – сопоставления с данными полевых обследований поврежденных насаждений были выбраны те индексные изображения, на которых даже визуально хорошо видны ветровальные повреждения и вырубки в лесном фонде лесхоза – EVI, WDRVI, RENDVI, NDWI, PSRI, DMCI, NBR.

Для автоматизации дальнейшего выделения поврежденных лесных насаждений на созданных растровых индексных изображениях выполняется неконтролируемая автоматическая классификация (так как поврежденные лесные насаждения хорошо видны на полученных растровых изображениях) на основе кластерного анализа Isocuster с разделением спектральных значений растровых изображений индексов на 5 классов с использованием ГИС-технологий.

Кластерный анализ относится к цифровым автоматизированным методам обработки космических изображений и позволяет выделять контуры с неконтрастной по спектральной яркости структурой. Это могут быть как непосредственно выделяемые растительность, открытые почвы, вода и т. д., так и некоторые особенности территории, выделяемые по косвенным признакам, например увлажнение, породный состав и т. д. [15].

Алгоритм кластеризации производит спектральный анализ исходного многозонального растрового изображения и пересчитывает его в однозональное, распределяя все пиксели в кластеры по их яркостным характеристикам. Вычисления продолжают до тех пор, пока все пиксели с 95%-ной вероятностью не попадут в какой-либо кластер [15].

Результатом кластеризации методом Isocuster является тематический растровый слой индекса, в котором в зависимости от индекса поврежденными насаждениями являлись 1-й и 2-й (или только 1-й) классы (рис. 1).

Как видно из кластеризованного тематического раstra спектрального индекса WDRVI, к поврежденным лесным насаждениям относятся пиксели изображения 1-го класса. Однако в данный класс также включаются и вырубки, и другие нелесные земли.

С целью определения наиболее оптимальных спектральных индексов для выделения поврежденных лесных насаждений выполнялось сопоставление классифицированных и кластеризованных изображений с векторным слоем повреждений, полученным на основе полевых обследований.

Данная операция предполагает векторизацию полученных классификационных изображений, вычисление площади, занимаемой тематическим классом поврежденных насаждений, и сравнение с эталонным векторным слоем поврежденных лесных насаждений, которые произошли на территории ГЛХУ «Смолевичский лесхоз».

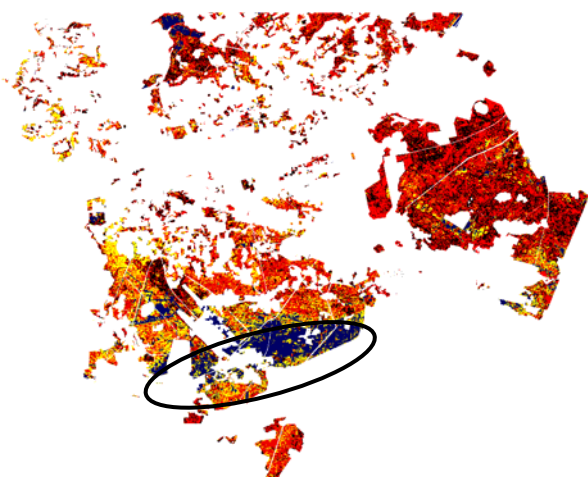


Рис. 1. Тематическое растровое изображение спектрального индекса WDRVI после классификации Isocluster на территорию ГЛХУ «Смолевичский лесхоз»

Сравнивая результаты расчетов слоев индексов со слоем полевых данных, можно затем выбрать индекс, максимально точно отражающий изменения в лесном фонде (рис. 2).

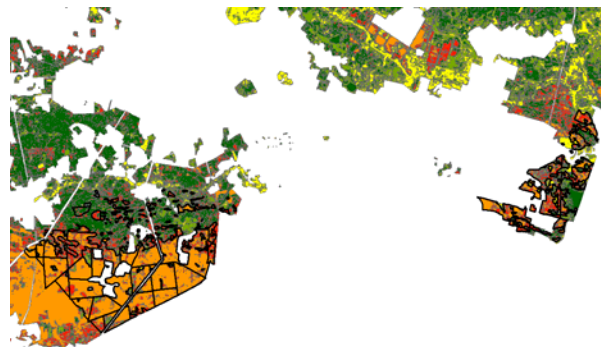


Рис. 2. Векторизованный слой спектрального индекса WDRVI и оцифрованные границы ветровала 2016 г. в ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» (фрагмент)

В результате вышеописанных действий создаются векторные слои спектральных индексов на территорию ГЛХУ «Смолевичский лесхоз», в атрибутивной базе которых содержатся данные классов классификации (1–5-й классы) и площади данных классов (рис. 3). Полученные таким образом векторные слои сравнивались с векторным слоем поврежденных лесных насаждений на основе функций оверлейного анализа ГИС.

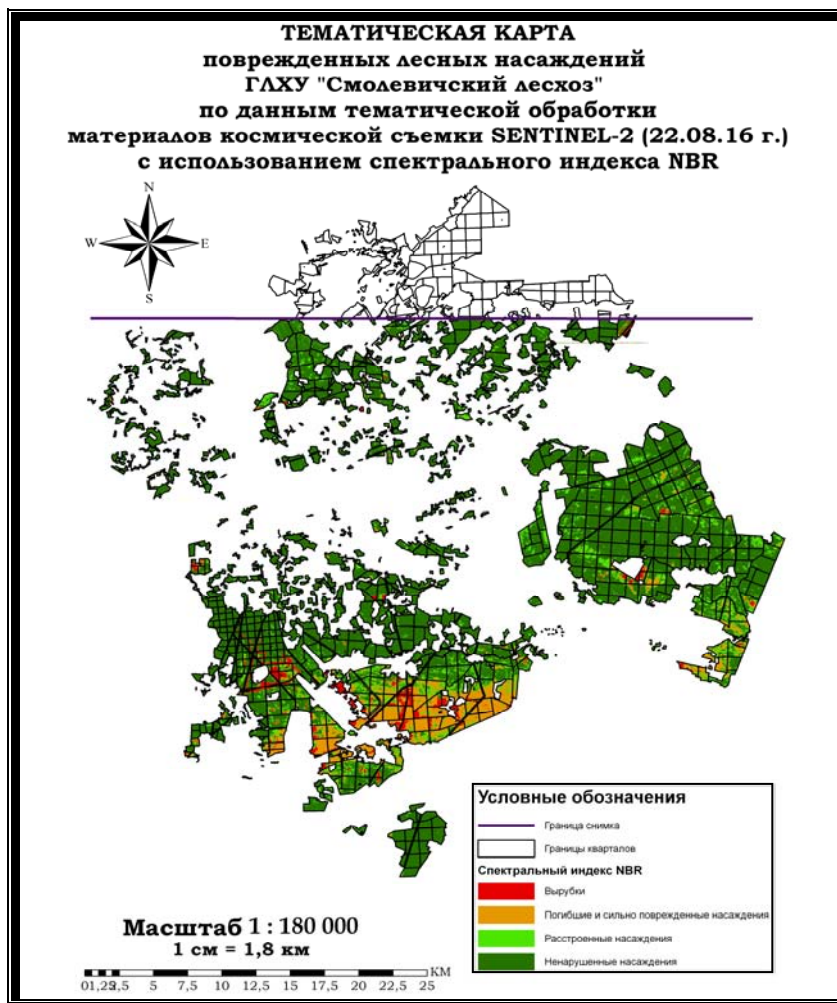


Рис. 3. Карта поврежденных лесных насаждений ГЛХУ «Смолевичский лесхоз» по спектральному индексу NBR

Для этого были вычислены площади классов спектральных индексов, приходящиеся на территорию поврежденных лесных насаждений, составляющую 2405 га (табл. 1).

Таблица 1
Классы спектральных индексов, приходящиеся на территорию поврежденных лесных насаждений

Класс	Наименование индекса и его площадь, га						
	WDRVI	PSRI	EVI	RENDVI	NBR	DMCI	NDWI
1	1490,1	170,7	117,5	37,8	190,4	28,9	1525,2
2	660,1	1515,2	1714,9	1823,9	1628,5	1879,6	724,3
3	164,5	604,5	418,6	415,7	479,0	418,9	137,4
4	69,9	114,5	112,3	106,3	96,6	72,2	17,8
5	20,3	0,2	41,8	21,5	10,6	5,5	0,2
<i>Итого</i>	2404,9	2405,1	2405,1	2405,1	2405,0	2405,2	2404,9

Полученные результаты имеют довольно высокую точность, особенно с учетом того, что классификация выполнена в автоматическом режиме без дополнительных расчетов. Некоторое несоответствие площадей связано с процедурой векторизации растровых изображений индексов, составленных из комбинаций каналов снимка.

При этом требуется оценить общую территорию, приходящуюся на каждый класс спектрального индекса для всего лесхоза, ведь чем больше площадей приходится на 1-й и 2-й классы классифицированных спектральных индексов, тем выше вероятность ложных обнаружений, что резко снижает точность картирования границ поврежденных насаждений (табл. 2).

Таблица 2
Классы спектральных индексов, приходящиеся на часть территории ГЛХУ «Смолевичский лесхоз»

Класс	Наименование индекса и его доля, %						
	WDRVI	PSRI	EVI	RENDVI	NBR	DMCI	NDWI
1	10,9	2,4	2,8	2,0	3,0	1,9	10,6
2	17,4	8,7	11,4	12,3	9,9	12,9	13,9
3	34,8	45,0	30,8	25,1	13,5	18,4	33,0
4	21,9	43,1	31,8	37,5	31,5	40,0	42,4
5	15,0	0,8	23,2	23,1	42,1	26,8	0,1
<i>Итого</i>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Заключение. В результате рассчитанные и векторизованные спектральные индексы довольно точно обеспечивают картирование границ ветровалов при сравнении их с полевыми данными: если учитывать только 1-й класс спектральных индексов, то наибольший процент обнаружения наблюдается у индексов NDWI и WDRVI (1525,2 и 1490,1 га, или 63,4 и 62,0% соответственно). Такие же результаты прослеживаются при одновременном учете двух классов, при этом наилучшие данные по дешифрированию повреждений приходится на индекс NDWI, который позволяет идентифицировать 93,5% поврежденной лесной территории. Однако, стоит также учитывать то, что перечисленные индексы не всегда позволяют выделить среди данных повреждений вырубку (так как часть ветровалов уже возможно разработана), которые наиболее точно выделяет спектральный индекс NBR (1-й класс – 7,9%).

Оценивая структуру распределения классов спектральных индексов по части территории лесхоза в относительных единицах, видим, что высоким потенциалом картирования поврежденных насаждений обладают индексы NDWI и WDRVI (10,6 и 10,9% соответственно). Ведь если вся часть территории лесхоза приходится на первые классы, то это приведет к высокому проценту обнаружения для всей территории лесхоза (так называемых ложных срабатываний), что увеличит погрешности при картировании.

Однако, если необходимо определить вырубку или гари, то здесь стоит использовать спектральные индексы, которые имеют разделение поврежденных насаждений на 1-й и 2-й классы (табл. 2). Следует учитывать, что это гипотетический процент, поскольку он, возможно, включает в себя не только поврежденные лесные насаждения и насаждения, пройденные лесохозяйственными мероприятиями, но и нелесные земли (прогалины, воды, пашни, сенокосы и т. д.). В этой связи для более достоверного выделения поврежденных лесных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий целесообразно проводить оверлейный ГИС-анализ – сопоставление дешифрированных по космическому снимку лесных насаждений с векторной картой покрытых лесом земель, полученной по данным базового лесоустройства. Разность двух данных карт покажет поврежденные лесные насаждения и участки сплошнолесосечных рубок.

Стоит уточнить, что автоматическая классификация пусть и дает очень хорошие результаты, но использование иных способов дешифрирования и классификации растровых слоев индексов может еще больше повысить точность картирования границ поврежденных насаждений.

Литература

1. Черепанов А. С., Дружинина Е. Г. Спектральные свойства растительности и вегетационные индексы // *Геоматика*. 2009. № 3. С. 28–32.
2. Дворкин Б. А., Дудкин С. А. Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли // *Геоматика*. 2013. № 2. С. 16–36.
3. Черепанов А. С. Вегетационные индексы // *Геоматика*. 2011. № 2. С. 98–102.
4. Пушкин А. А., Сидельник Н. Я., Ковалевский С. В. Использование материалов космической съемки для оценки пожарной опасности в лесах // *Труды БГТУ*. 2015. № 1 (174): Лесное хоз-во. С. 36–40.
5. Информационная система космического мониторинга санитарного состояния лесов ВЕГА-лесопатолог / С. А. Барталев [и др.] // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)*. Сборник научных статей. 2012. Т. 9. № 5. С. 171–180.
6. Полуавтоматическое выявление вырубок леса на мультитременных радарных и радарно-оптических цветных композитах / Е. В. Бахтинова [и др.] // *Геоматика*. 2012. № 1. С. 52–55.
7. Девятова Н. В., Ершов Д. В. Съемка MODIS/TERRA в мониторинге вспышек массового размножения очагов насекомых-вредителей // *Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)*. Сборник научных статей. 2005. Т. 1. № 2. С. 262–266.
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.
9. Особенности организации спутникового мониторинга массового размножения вредных насекомых в лесах Сибири / А. С. Исаев [и др.] // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2004. Т. 1. № 1. С. 164–174.
10. Маркс А., Грисбах Р. Лесопатологический космический мониторинг: возможности группировки RapidEye // *Геоматика*. 2012. № 4. С. 46–51.
11. Шумаков Ф. Т., Азимов А. Т. Об использовании данных дистанционного зондирования Земли для геоинформационных подсистем ситуационных центров экологического мониторинга // *ArcReview* [Электронный ресурс]. 2013. № 2 (65). Режим доступа: https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=10559&SECTION_ID=285. Дата доступа: 10.10.2017.
12. Крылов А. М., Малахова Е. Г., Владимировна Н. А. Выявление и оценка площадей катастрофических ветровалов 2009–2010 гг. по данным космической съемки // *Изв. С.-Петербур. гос. лесотехн. акад.* 2012. Вып. 200. С. 197–207.
13. ImageSVM classification. Application Manual: imageSVM version 2.0. [Электронный ресурс] / Sebastian van der Linden, Andreas Rabe, Akpona Okujeni, Patrick Hostert // Humboldt-Universität zu Berlin, Geomatics Lab, 2009. Режим доступа: <http://www.hu-geomatics.de>. Дата доступа 10.10.2017.
14. Eisfelder C., Kraus T., Bock M., Werner M., Buchroithner M. F., Strunz G. Towards automated forest-type mapping – a service within GSE forest monitoring based on SPOT-5 and Ikonos data // *International Journal of Remote Sensing*. 2009. Vol. 30, no. 19. P. 5015–5038.
15. Скрипачев В. О., Зубков И. А. Применение алгоритмов неконтролируемой классификации при обработке данных ДЗЗ // 4-я Всероссийская открытая конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»: сб. тезисов конференции. Москва, ИКИ РАН, 13–17 ноября 2006 г. С. 57–62.

References

1. Cherepanov A. S., Druzhinina E. G. Spectral properties of vegetation and vegetative indices. *Geomatika* [Geomatics], 2009, no. 3, pp. 28–32 (In Russian).
2. 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).
3. Cherepanov A. S. Vegetational indices. *Geomatika* [Geomatics], 2011, no. 2, pp. 98–102 (In Russian).
4. Pushkin A. A., Sidel'nik N. Ya., Kovalevskiy S. V. Use of space survey materials to assess fire danger in forest. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1 (174): Forestry, pp. 36–40 (In Russian).
5. Bartalev S. A., Ershov D. V., Lupyan E. A., Krylov A. M., Uvarov I. A. Information system of space monitoring of forest health status VEGA-forest pathologist. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa (Fizicheskiye osnovy, metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchey sredy, potentsial'no opasnykh yavleniy i ob'ektov)* [Modern problems of remote sensing of the earth from space (Physical bases, methods and technologies of monitoring the environment, potentially dangerous phenomena and objects)], 2012, vol. 9, no. 5, pp. 171–180 (In Russian).

6. Bakhtinova E. V., Sokolov A. Yu., Nikolskiy D. B., Kantemirov Yu. I. Semi-automatic detection of deforestation on multi-radar and radar-optical colored composites. *Geomatika* [Geomatics], 2012, no. 1, pp. 52–55 (In Russian).

7. Devyatova N. V., Ershov D. V. MODIS / TERRA photography in monitoring outbreaks of mass breeding of pest outbreaks. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa (Fizicheskiye osnovy, metody i tekhnologii monitoringa okruzhayushchey sredy, potentsial'no opasnykh yavleniy i ob'yektov)* [Modern problems of remote sensing of the earth from space (Physical bases, methods and technologies of monitoring the environment, potentially dangerous phenomena and objects)], 2005, vol. 1, no. 2, pp. 262–266 (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).

9. Isaev A. S., Ershov D. V., Lupyayev A. A., Kobel'kov M. E. Features of the organization of satellite monitoring of mass reproduction of harmful insects in Siberian forests. *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the earth from space], 2004, vol. 1, no. 1, pp. 164–174 (In Russian).

10. Marks A., Grisbakh R. Forest pathological space monitoring: the possibilities of the RapidEye grouping. *Geomatika* [Geomatics], 2012, no. 4, pp. 46–51 (In Russian).

11. Shumakov F. T., Azimov A. T. On the use of Earth remote sensing data for geo-information subsystems of situational centers of environmental monitoring. Available at: https://www.dataplus.ru/news/arcreview/detail.php?ID=10559&SECTION_ID=285 (accessed 10.10.2017).

12. Krylov A. M., Malakhova E. G., Vladimirova N. A. Identification and assessment of catastrophic windfall areas 2009–2010. according to space survey. *Izv. S.-Peterb. gos. lesotekh. akad.* [News St. Petersburg state timber college], 2012, vol. 200, pp. 197–207 (In Russian).

13. ImageSVM classification. Application Manual: imageSVM version 2.0. Available at: <http://www.hu-geomatics.de> (accessed 10.10.2017).

14. Eisfelder C., Kraus T., Bock, M., Werner, M., Buchroithner, M. F., Strunz, G. Towards automated forest-type mapping-a service within GSE forest monitoring based on SPOT-5 and Ikonos data. *International Journal of Remote Sensing*. 2009, vol. 30, no. 19, pp. 5015–5038.

15. Skripachev V. O., Zubkov I. A. [Application of algorithms of uncontrolled classification in the processing remote sensing data]. *4ya Vserossiyskaya otkrytaya konferentsiya («Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya zemli iz kosmosa»)* [4 All-Russian Open Conference (“Modern problems of remote sensing of the the earth from space”)]. Moscow, 2006, pp. 57–62 (In Russian).

Информация об авторах

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

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

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

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

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

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

Поступила 30.10.2017

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ

УДК 630*238

С. С. Штукин¹, П. И. Волович²

¹Белорусский государственный технологический университет

²Институт леса Национальной академии наук Беларуси

СТАНДАРТ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ – НОВЫЙ УРОВЕНЬ РАЗВИТИЯ ПЛАНТАЦИОННОГО ЛЕСОВОДСТВА

Проанализирован стандарт Республики Беларусь (СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания»), разработанный ГНУ «Институт леса Национальная академия наук Беларуси» и УО «Белорусский государственный технологический университет». Этот технический нормативно-правовой акт утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 31 июля 2017 года № 63. Отмечено, что разработка и введение в действие ТПНА такого уровня осуществлены в Республики Беларусь в области плантационного лесоводства впервые. Плантационное выращивание сосны и ели – это наиболее надежный способ улучшения обеспеченности предприятий концерна «Беллесбумпром» требуемым древесным сырьем за счет назначения древостоев в рубку главного пользования по достижении ими возраста количественной спелости или оптимального среднего диаметра. К тому же массовое создание и выращивание лесных плантаций позволит снизить потребление древесины из естественных лесов и защитить их от уничтожения.

Ключевые слова: лесные плантации, стандарт Республики Беларусь, техническое проектирование, обработка почвы, тип лесных плантаций, рубки ухода.

S. S. Shtukin¹, P. I. Volovich²

¹Belarusian State Technological University

²Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus

STANDARD OF THE REPUBLIC OF BELARUS IS A NEW DEVELOPMENT LEVEL OF PLANTATIONAL FORESTRY

The standard of the Republic of Belarus is analyzed (STB 2515-2017 “Cultures of forest plantation pines and spruce: requirements for the technologies of creation” developed by the Institute of Forest of the National Academy of the Republic of Belarus and the Belarusian state technological university. This technical normative legal act approved by the Government of the Republic of Belarus of July 31, 2017 no. 63. It is noted that the development and implementation of technical and regulatory legal act of this level is carried out in the Republic of Belarus in the field of plantation forestry for the first time. Plantation cultivation of pine and spruce is the most reliable way to improve the security of the enterprises of the concern Belarusian forest paper industry, which is required by wood raw materials by assigning stands to the main felling after reaching the age of quantitative ripeness or the optimal average diameter. In addition, the massive creation and cultivation of forest plantations, which reduce the consumption of wood from natural forests and protect them from destruction.

Key words: forest plantations, standard of the Republic of Belarus, technical design; soil cultivation, type of forest plantations, felling care.

Введение. В современном лесоводстве все большее значение приобретают технологические процессы, которые дают возможность улучшить методы возобновления леса в различных лесорастительных условиях. Особенно актуально это для промышленно развитых регионов, в которых леса обеспечивают общество ценными лесными материалами (в первую оче-

редь хвойными). В этом плане наряду с классическим лесоводством, целью которого является создание и выращивание устойчивых, саморегулирующихся и долговечных систем, особый интерес представляют лесные плантации, позволяющие интенсифицировать лесовыращивание и специализировать его на производстве наиболее ценной лесной продукции.

В Беларуси возрастает интерес к данному методу воспроизводства лесных ресурсов. Его обоснование ведется на экспериментальной основе с 70-х гг., а производственные лесные плантации для Светлогорского ЦКК начали создавать во второй половине 80-х гг. прошлого столетия. В последние годы лесные плантации создаются и для Шкловского комбината по производству газетной бумаги, и для энергетики. К настоящему времени и на опытных, и на производственных лесных плантациях старших возрастов накоплен достаточно богатый опыт плантационного лесовыращивания, который позволил определиться, в каких условиях нужно выращивать древесное сырье с конкретными параметрами, а в каких приоритетно классическое (экологическое, биоценологическое) лесоводство, целью которого является формирование полноценной лесной экосистемы. Выполненные исследования многовариантных и длительных экспериментов в области плантационного лесоводства, осуществленных Двинской ЛОС в 80-е и 90-е гг. прошлого столетия в Глубокском и Плисском опытных лесхозах, позволили в настоящее время разработать технический нормативно-правовой акт нового уровня развития плантационного лесоводства в Беларуси – стандарт Республики Беларусь (СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания»). Этот ТНПА разработан ГНУ «Институт леса Национальной академии наук Беларуси» и УО «Белорусский государственный технологический университет» в рамках задания 2.3 «Разработать и внедрить технологии создания и выращивания устойчивых высокопродуктивных плантаций древесных пород и стратегию плантационного лесовыращивания в Республике Беларусь», ГНПП «Леса Беларуси – продуктивность, устойчивость, эффективное использование». Документ утвержден и введен в действие постановлением Госстандарта Республики Беларусь от 31 июля 2017 г. № 63. Его анализ представляет значительный научный и практический интерес.

Основная часть. СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания» устанавливает требования к технологиям создания лесных плантаций сосны и ели с целью ускоренного выращивания деловой древесины с заданными характеристиками (крупная, средняя, мелкая) при минимальном отрицательном воздействии на окружающую среду.

Лесные плантации – это, как правило, одновозрастные монокультуры коммерчески выгодных лесных древесных пород. В настоящее время их доля составляет около 7% от общей

площади лесного покрова нашей планеты и почти 35% в мировом ежегодном объеме заготовленной древесины [1]. По данным ФАО, к 2020 г. лесные плантации будут обеспечивать 44% мирового потребления древесины.

Важнейшим результатом создания и выращивания лесных плантаций является снижение давления лесозаготовок на естественные леса, что имеет важное экологическое значение. Основной путь сохранения естественных лесов – одновременное решение двух задач:

- 1) снижение потребления древесины из девственных лесов;
- 2) защита оставшихся естественных лесов от вырубки и трансформации в сельскохозяйственные угодья.

Решение поставленных задач возможно в основном за счет развития плантационного лесоводства. Лесные плантации следует отличать от лесных культур. Как известно, лесные культуры – это лесные насаждения, созданные посевом или посадкой. В зарубежной научной литературе лесные культуры чаще всего называют лесными посадками. ФАО для лесных культур предложен термин «*seminatural forests*» – полуживые леса. В этом случае речь идет о таких искусственных насаждениях, которые в значительной степени копируют естественные леса по составу пород, густоте стояния деревьев и другим показателям. Под лесными же плантациями следует понимать **лесные насаждения, создаваемые и выращиваемые по интенсивным технологиям с целью ускоренного получения большего количества древесного сырья с заранее заданными параметрами** [2].

Термин «лесные плантации» применяется во всем мире. В 70-е и 80-е гг. прошлого столетия использовались термины «плантационные лесные культуры», «лесосырьевые плантации» и др. [3, 5, 7, 11]. В настоящее время Лесной кодекс Российской Федерации не использует эти термины [4]. Вместо них, как и во всем мире, применяется термин «лесные плантации».

В общих положениях СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания» подчеркивается, что создание лесных плантаций должно обеспечивать воспроизводство лесных ресурсов в максимально короткие сроки и тем самым способствовать восстановлению и сохранению лесов естественного происхождения [6, 9]. В соответствии со стандартом лесные плантации создаются в радиусе 100 км вокруг перерабатывающих древесину предприятий [8]. При этом для Беларуси выделяют три зоны создания лесных плантаций:

- центральная (ОАО «Борисовский ДОК» и РУП «Завод газетной бумаги» в г. Шклове);

– западная (ОАО «Ивацевичи» и ОАО «Мостовдрев»);

– юго-восточная (ОАО «Светлогорский ЦКК»).

Важным требованием стандарта является установленный норматив создания лесных плантаций крупными массивами на участках нелесных земель лесного фонда и на земельных участках иных категорий земель. Так, земельные участки площадью не менее 10 га с удаленностью один от другого не более 1 км должны быть объединены в рабочие блоки не менее 50 га. Это необходимо для концентрации и интенсификации выполняемых мероприятий по сокращению сроков выращивания древесины сосны и ели с заранее заданными параметрами [10]. Лесные плантации, как и лесные культуры, создают по разработанным проектам, включающим комплекс лесохозяйственных мероприятий (соответствующая почвенным условиям обработка почвы, использование посадочного материала, выращенного из генетически улучшенных или местных семян, поддержание оптимальной густоты стояния древесных растений в течение всего срока их выращивания, своевременные агротехнический и лесоводственный уход, лесопатологический мониторинг с профилактическими мерами защиты).

В разделе «Требования к технологиям создания лесных плантаций сосны и ели» приведены следующие этапы создания лесных плантаций:

- 1) техническое проектирование;
- 2) подбор и подготовка земельных участков, выбор способа обработки почвы;
- 3) выбор типа лесных плантаций и способа их создания;
- 4) техническая приемка и инвентаризация лесных плантаций;
- 5) уход за лесными плантациями и их охрана;
- 6) рубки ухода в лесных плантациях.

Техническое проектирование лесных плантаций включает выбор земельных участков, обследование их почвенных условий и выбор древесных пород для культивирования. В проекте должны быть также сформулированы цели, методы и технологии создания лесных плантаций и их экономическое обоснование, в котором приводится лесосырьевой баланс с объемами заготовок и поставок древесины на внутренний рынок и на экспорт, а также структура потребления древесины в районе создания лесных плантаций.

На этапе подбора и подготовки земельных участков, а также выбора способа обработки почвы установлено, что участки для создания плантаций сосны и ели должны быть с ровным или слабохолмистым рельефом, имеющим уклон не более 6°. Почвенные условия подобранных площадей для создания лесных плантаций

должны обеспечивать рост сосны не ниже I–II класса бонитета и ели – не ниже I–Ia (орляковая, кисличная, снытевая, черничная и частично мшистая для сосны серии типов леса) или приравненные к ним земли по почвенным условиям. При этом СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания» допускает включать не более 10% площадей участков с почвенными условиями, на которых рост культивируемых пород будет ниже не более чем на один класс бонитета. Подготовка лесокультурной площади на участках, предназначенных для создания лесных плантаций, должна обеспечивать благоприятные условия для качественного проведения работ по обработке почвы, а также для снижения пожарной опасности и улучшения санитарного состояния площадей. Она проводится с целью удаления древесно-кустарниковой растительности, камней, выравнивания ям и устранения других преград, препятствующих работе машин и механизмов.

Обработка почвы под лесные плантации проводится с максимальным возможным сохранением почвенного плодородия и улучшения ее физических и биохимических свойств с целью создания оптимальных почвенно-экологических условий для корневого питания культивируемых растений. В отличие от лесных культур перед обработкой почвы под лесные плантации выполняется провешивание линий будущих рядов древесных растений. При этом отклонение линии провешивания на 100 м длины гона должно быть не более 30 см при размещении культивируемых растений рядами и не более 50 см – при их размещении 2–5-рядными кулисами.

На этапе выбора типа лесных плантаций и способа их создания стандартом установлено, что лесные плантации создают как чистыми, так и смешанными по составу. При этом для выращивания мелкой и средней по крупности древесины сосны и ели плантации создаются только чистыми по составу. На землях, выведенных из сельскохозяйственного пользования, также создают чистые плантации сосны и ели. На относительно бедных почвах (орляковая и частично мшистая серия типов леса), а также на землях, выведенных из сельскохозяйственного пользования, лесные плантации сосны создают 2-рядными кулисами с узкими (1,5–1,8 м) междурядьями, которые чередуются с широкими (3,0–3,6 м). В широкие междурядья вносятся почвоулучшающие и азотофиксирующие растения, такие как аморфа обыкновенная, бузина красная, ирга круглолистная и др. Шаг посадки сеянцев сосны составляет 0,6–0,8 м, густота посадки – 4,8–6,5 тыс. шт. на 1 га. Такая густота

посадки сеянцев сосны установлена для того, чтобы можно было путем искусственного отбора сформировать древостой лесной плантации из деревьев-лидеров и за счет этого сократить сроки выращивания древесины с заданными параметрами.

Размещение деревьев на лесных плантациях сосны и ели 2-рядными кулисами обеспечивает достаточную густоту стояния древостоя для формирования насаждений из господствующих деревьев и условия для проведения механизированных и химических (контактным способом) уходов, а также для механизированной обрезки сучьев, трелевки и вывозки древесины и снижения пожарной опасности формируемых насаждений (путем использования части широких междурядий для проведения минерализованных полос).

Лесные плантации сосны на более богатых почвах, соответствующих кисличной и черничной сериям типов леса, создаются 3-рядными кулисами с узкими (1,5–1,8 м) междурядьями, которые чередуются с широким (3,0–3,6 м) междурядьем. Шаг посадки сеянцев сосны составляет 0,6–0,8 м, густота посадки – 5,0–7,0 тыс. шт. на 1 га.

На землях со связно-песчаными, супесчаными и суглинистыми почвами (лесорастительные условия В₂, В₃ С₂) плантации сосны создают с размещением сеянцев на лесокультурной площади 2,0–2,5 × 0,6–0,8 м и густотой посадки 5,0–7,0 тыс. шт. на 1 га.

Лесные плантации ели создают на землях, представленных супесями на суглинках, а также на суглинках и глинах, приравненных к орляковой, кисличной, снытьевой и черничной сериям типов леса создают 2–5-рядными кулисами с узкими (1,8–2,2 м) междурядьями, чередующимися с широким (3,6–4,4 м). При этом шаг посадки саженцев составляет 0,8–1,2 м, густота их посадки – 2,5–4,0 м. В этих же лесорастительных условиях допускается посадка саженцев ели рядами с размещением 2,5–3,0 × 0,8–1,2 м.

Согласно СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания», лесные плантации создаются сеянцами или саженцами с открытой или закрытой корневой системой. При этом посадочный материал с закрытой корневой системой разрешается высаживать при температуре воздуха в ночное и дневное время не ниже 0°C. Предпочтение отдается механизированной посадке, при которой создаются оптимальные условия для приживаемости культивируемых растений.

На этапе технической приемки лесных плантаций устанавливается правильность

оформления площадей земельных участков под лесные плантации, соответствия культуры-вируемых пород проекту и почвенным условиям, технологии создания плантаций, определяется качество выполненных работ. Результаты приемки вносятся в реестр создания лесных плантаций.

Инвентаризация проводится в лесных плантациях первого и третьего годов выращивания с целью определения их приживаемости и состояния, которые регламентируются установленными требованиями к созданию лесных плантаций. Так, на первом году приживаемость культивируемых растений должна быть не менее 90,0–95,0%, на третьем – 86,0–89,9%.

На этапе ухода за лесными плантациями сосны и ели проводится их дополнение (при приживаемости на первом году ниже 90% и 80% – на третьем году выращивания). Агротехнические уходы осуществляются, как правило, механизированным способом. Удаление поросли древесных и кустарниковых пород проводится как химическим (с использованием гербицидов и арборицидов, включенных в Государственный реестр средств защиты растений), так и механическим способом (кусторезами).

Внесение минеральных удобрений выполняется с целью ускорения роста культивируемых растений. Оно начинается с четырех-, пятилетнего возраста. Вносят нитроаммофоску или смесь азотных, фосфорных и калийных удобрений в соотношении 2:1:1 либо 3:1:1 при расходе азотных удобрений 6–8 г/м². В последующие годы для увеличения прироста древесных растений в лесных плантациях вносят удобрения на тех участках, на которых древостой растет по 1,5 классу бонитета и ниже. Минеральные удобрения вносят с интервалом 5–7 лет. При этом рубки ухода должны проводиться до внесения удобрений. Нормы расхода и кратность применения удобрений в каждом конкретном случае определяют на основе информации о темпах роста культивируемых растений и уровне обеспеченности их элементами минерального питания (по данным почвенной и листовой диагностики).

На этапе рубок ухода в лесных плантациях СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания» установлено требование оптимального времени проведения рубок ухода в зимне-весенний период, когда в атмосферном воздухе меньше споровой инфекции, а интенсивное смолывыделение на пнях препятствует распространению инфекционных болезней (грибные, бактериальные, вирусные).

Для ускорения роста деревьев-лидеров в древостоях за счет снижения внутривидовой

конкуренции в лесных плантациях проводятся рубки ухода (осветления и прочистки), при которых удаляется не только поросль мягколиственных пород, но и отставшие в росте деревья и деревья с пороками формы ствола культивируемых пород. Количество проводимых рубок ухода в лесных плантациях сосны и ели устанавливается в зависимости от получаемой конечной продукции. Так, при выращивании мелкой и средней по крупности древесины проводят рубку осветления один раз, а при выращивании крупной древесины – два раза за период выращивания. Рубки ухода в лесных плантациях выполняют по низовому методу.

Стандартом установлено, что при осуществлении рубок ухода в молодняках в первую очередь сохраняются деревья-лидеры, с учетом их относительно-равномерного размещения на площади. Расстояние между деревьями в рядах плантаций после проведения рубки не должно превышать 4 м или быть меньше шага посадки. Если же расстояние в ряду превышает 4 м, то вместо сосны и ели подлежит сохранению береза либо другие древесные растения.

На лесных плантациях сосны обыкновенной осветление проводится в возрасте 8–10 лет, после чего оставляется 1,6–1,8 тыс. деревьев-лидеров на 1 га. На плантациях ели в 11–13-летнем возрасте выполняются прочистки и сохраняется 1,4–1,6 тыс. деревьев-лидеров на 1 га. При проведении рубок ухода в лесных плантациях сосны и ели вырубается деревья мягколиственных пород. В возрасте 17–20 лет проводится рубка ухода – прочистка, после которой сохраняются деревья-лидеры с густотой на лесных плантациях сосны 1,4–1,6 тыс., ели – 1,2–1,4 тыс. шт./га.

Рубки прореживания осуществляются в 30–35-летнем возрасте только при выращивании крупномерной древесины. При этом сохраняется 0,8–1,2 тыс. деревьев-лидеров на 1 га.

При выращивании крупной древесины в лесных плантациях сосны и ели производится обрезка сучьев в возрасте 15–17 лет до высоты ствола 3,0–3,5 м и в возрасте 25–28 лет – до высоты 6,0–6,5 м.

Стандартом установлено, что главная рубка лесных плантаций при выращивании мелкой и средней по крупности древесины проводится в возрасте 35–40 лет по достижении ими среднего диаметра древостоев не менее 20 см. Лесные плантации сосны и ели, предназначенные для выращивания крупной древесины, назначаются в рубку по достижении ими среднего диаметра у сосны обыкновенной 24–28 см, средней высоты 18,0–20,0 м и запаса 300–350 м³/га. Для ели европейской средний диаметр такой же, как и у

сосны, а средняя высота составляет 19–21 м, запас – 350–400 м³ на 1 га.

Заключение. Разработка и введение в действие технического нормативно-правового акта такого уровня, как СТБ 2515-2017 «Культуры лесные плантационные сосны и ели. Требования к технологиям создания» осуществлены в Республике Беларусь в области плантационного лесоводства впервые. Появление данного документа свидетельствует о повышенной значимости плантационного лесоводства для лесного комплекса нашей страны. В значительной степени это связано с тем, что нормативы стандарта разрабатывались на основе результатов многовариантных и длительных исследований.

В 70-е и 80-е гг. прошлого столетия в области интенсификации лесовыращивания была осуществлена серия экспериментов на площади 80 га. Эксперименты охватывали более 100 вариантов мероприятий по воздействию на интенсивность роста сосны и ели. По материалам многолетних (39 лет) исследований разработаны технологии ускоренного выращивания крупномерной (на пиловочник) и балансовой древесины хвойных пород, которые обеспечивают улучшение условий минерального питания древесных растений, условия для выращивания дополнительной побочной продукции, кардинальное улучшение санитарного состояния древостоев и повышение их устойчивости против корневой гнили, ветровала и снеголома. За счет назначения лесных плантаций в рубку главного пользования по достижении ими целевого среднего диаметра или количественной спелости древостоев обеспечивается получение качественной крупной древесины сосны и ели в 50–60 лет в объеме 300–400 м³/га, балансовой в 35–40 лет – 250–300 м³/га. При этом выход лесопроductии с единицы площади увеличивается, как минимум, на 20–30%. Создание и выращивание таких плантаций на дренированных почвах не требует значительных дополнительных затрат и обеспечивает многократное повышение экономической эффективности воспроизводства древесных ресурсов.

Нашими исследованиями установлено, что в природно-экономических условиях Беларуси создание и выращивание лесных плантаций обеспечивает при учете фактора времени многократное повышение экономической эффективности воспроизводства древесины с заранее заданными параметрами в сравнении с контрольными древостоями искусственного происхождения. Подобран такой комплекс лесокультурных, лесомелиоративных и лесоводственных мероприятий по плантационному лесовыращиванию в наиболее распространенных

лесорастительных условиях Беларуси, который в основном за счет уменьшения оборота рубки обеспечивает высокую экономическую эффективность нового метода воспроизводства лесных ресурсов.

Лесные плантации с их образцовым санитарным состоянием и коротким оборотом рубки обладают повышенной устойчивостью против промышленных выбросов и массового усыхания. При этом селекционное разреживание молодняков в середине первого класса возраста не оказывает достоверного отрицательного влияния на плотность древесины, выращенной на лесных плантациях с экспериментально ус-

тановленным режимом густоты стояния древесных растений.

На ближайшую перспективу плантационное выращивание сосны и ели – наиболее надежный способ улучшения обеспеченности предприятий концерна «Беллесбумпром» требуемым древесным сырьем за счет назначения древостоев в рубку главного пользования по достижении ими возраста количественной спелости или оптимального среднего диаметра.

Массовое создание и выращивание лесных плантаций позволит снизить потребление древесины из естественных лесов и в значительной степени защитить их от уничтожения.

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-х ч. СПб.: ГЛТУ, 2013. Ч. 1. 180 с.
4. Прокизин А. Генетика, селекция и семеноводство на службе леса // Лесное и охотничье хозяйство. 2009. № 12. С. 24–27.
5. Штукин С. С. Технология ускоренного выращивания сосны и ели в Белоруссии // Лесное хозяйство. 1989. № 12. С. 28–31.
6. Рожков Л. Н. Проблемы воспроизводства сосны в Беларуси // Лесное и охотничье хозяйство. 2003. № 11. С. 15–18.
7. Маркова И. А. Ускоренное выращивание лесных культур сырьевого назначения // Стационарные опытные объекты. 2008. С. 105–111.
8. Шутов И. В., Маркова И. А. Плантационное лесоводство; под общ. ред. И. В. Шутова. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2007. 366 с.
9. Войтов И. В., Кочановский С. Б. Сохранение природно-ресурсного потенциала Беларуси как условие устойчивого развития // Природные ресурсы. 2000. № 2. С. 31–40.
10. Родин А. Р. Искусственное лесовыращивание: избранные труды; 2-е изд. М.: ФГБОУ ВПО МГУЛ, 2014. 256 с.
11. Маркова И. А. Ускоренное производство древесины в Европейско-Уральской зоне Российской Федерации: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та. 2016. 116 с.

References

1. Pisarenko A. I., Strakhov S. S. Prospects for the development of forest plantations as the basis for reforestation. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 2014, no. 5, pp. 2–6 (In Russian).
2. Shtukin S. S. *Uskorennoye vyrashchivaniye sosny, yeli i listvennitsy na lesnykh plantatsiyakh* [Accelerated cultivation of pine, spruce and larch on forest plantations]. Minsk, IOOO "Pravo i ekonomika" Publ., 2004. 242 p.
3. Markova I. A. *Lesokul'turnoye delo na Severo-Zapade Rossii* [Forestry in the North-West of Russia]. St. Petersburg, GLTU Publ., 2013. Part 1. 180 p.
4. Prokizin A. Genetics, selection and seed-growing in the service of forest. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forest and hunting], 2009, no. 12, pp. 24–27 (In Russian).
5. Shtukin S. S. Technology of Accelerated Growth of Pine and Spruce in Belarus. *Lesnoye khozyaystvo* [Forestry], 1989, no. 12, pp. 28–31 (In Russian).
6. Rozhkov L. N. Problems of reproduction of pine in Belarus. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forest and hunting], 2003, no. 11, pp. 15–18 (In Russian).
7. Markova I. A. Accelerated cultivation of forest cultures of raw materials. *Statsionarnyye opytnyye ob'yekty* [Stationary experimental objects], 2008, pp. 105–111 (In Russian).
8. Shutov I. V., Markova I. A. *Plantatsionnoye lesovodstvo* [Plantation forestry]. St. Petersburg, Izd-vo Politekh. un-ta Publ., 2007. 366 p.

9. Voitau I. V., Kochanovskiy S. B. Preservation of the natural resource potential of Belarus as a condition for sustainable development. *Prirodnyye resursy* [Natural resources], 2000, no. 2, pp. 31–40 (In Russian).

10. Rodin A. R. *Iskustvennoye lesovyvrashchivaniye* [Artificial forest harvesting]. Moscow, FGBOU ВРО MGUL Publ., 2014. 256 p.

11. Markova I. A. *Uskorennoye proizvodstvo drevesiny v Evropeysko-Ural'skoy zone Rossiyskoy Federatsii* [Accelerated wood production in the European-Ural zone of the Russian Federation]. St. Petersburg, Izd-vo Politekhn. un-ta Publ., 2016. 116 p.

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). E-mail: hss@belstu.by

Волович Петр Игнатьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий сектором лесовосстановления. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: formelior@tut.by

Information about the authors

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

Volovich Petr Ignat'yevich – PhD (Agriculture), Head of the Reforestation Sector. Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel', Republic of Belarus). E-mail: formelior@tut.by

Поступила 17.11.2017

УДК 630*232.311.9

Л. Ф. Поплавская, С. В. Ребко, П. В. Тупик

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА КАЧЕСТВА СЕМЕННОГО И ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ, ПОЛУЧЕННОГО
НА ГИБРИДНО-СЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ**

В Беларуси в настоящее время лесное семеноводство предполагается развивать по двум направлениям: плантационному и популяционному. Для создания продуктивных и устойчивых сосновых древостоев искусственного происхождения несомненно ценным и актуальным является плантационное семеноводство, развитие которого в последующем позволит получать на лесосеменных плантациях сортовые семена с ценными наследственными свойствами. Для обеспечения лесохозяйственной отрасли сортовыми семенами большой интерес представляют гибридно-семенные плантации сосны обыкновенной. При их создании используют лучшие по продуктивности и уровню семеношения клоны различных экотипов. При наличии естественной гибридизации на гибридно-семенной плантации введенные клоны продуцируют семенной материал нового качества, происходит образование наиболее ценных в генетическом отношении гибридных семян, применение в лесокультурном производстве которых позволит создавать продуктивные и устойчивые насаждения.

В данной работе определена урожайность гибридно-семенной плантации, а также проведена оценка качества семенного и посадочного материала сосны обыкновенной.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, плантация гибридно-семенная, оценка качества.

L. F. Poplavskaya, S. V. Rebko, P. V. Tupik

Belarusian State Technological University

**ESTIMATION OF QUALITY SEED AND PLANTING MATERIAL
HARVESTED ON HYBRID-SEEDS PLANTATION OF PINUS SYLVESTRIS**

In Belarus at present, forest seed is expected to develop in two areas: plantation and population. To create productive and sustainable pine stands of artificial origin is undoubtedly valuable and relevant is the seed plantation, development of which in the following will allow you to get on forest seed plantations of high-quality seeds with valuable on-effect properties. To ensure the forestry sector varietal seeds of undoubted interest hybrid seed plantation of Scots pine. The establishment of such plantations use the best of productivity and level of reproduction clones of different ecotypes. The existence of natural hybridization in hybrid-seed plantations of introduced clones produce seed material of a new quality, the formation of the most valuable in the genetic relationship of hybrid seed use in silvicultural production which will create productive and sustainable plantations. In this work, we determined the yield of hybrid seed plantation and also assessed the quality of seed and planting material of Scots pine.

Key words: Pinus sylvestris, hybrid-seed plantation, estimation of quality.

Введение. В Беларуси в настоящее время развитие лесного семеноводства предполагает использование для создания высокопродуктивных, качественных и устойчивых искусственных насаждений сортовых семян с ценными наследственными свойствами [1, 2].

Для обеспечения лесокультурного производства сортовыми семенами несомненный интерес представляют гибридно-семенные плантации сосны обыкновенной [3, 4].

Отличительной особенностью этих плантаций является то, что при их создании вводятся лучшие по продуктивности и обилию семеношения клоны различных экотипов [5, 6].

Среди отобранных клонов при наличии естественной гибридизации происходит образование семенного материала нового качества, наиболее ценных в генетическом отношении гибридных семян, применение в лесокультурном производ-

стве которых позволит создавать высокопродуктивные и устойчивые насаждения [7].

Основная часть. Целью работы является определение урожайности и оценка качества посевного и посадочного материала сосны обыкновенной гибридно-семенной плантации.

Гибридно-семенная плантация сосны обыкновенной Негорельского УОЛ создана в 1986 г. на площади 0,3 га. Для этого была произведена заготовка черенков в 5 вариантах климатипов, произрастающих в географических культурах второго поколения (Белгородский, Воронежский, Саратовский, Кировский и Минский климатипы). Заготовка черенков осуществлялась с наиболее развитых, высоких и мощных деревьев, отличающихся обильным семеношением. При этом в каждом варианте черенки заготавливались с деревьев с обычным семеношением, а также с деревьев, шишки у которых располага-

ются на побегах кучно, т. е. в виде гроздевидного семеношения [8].

В 2004 г. по результатам испытания семей гибридно-семенной плантации 1986 г. была создана плантация второго поколения, на которую введено потомство 34 клонов, отличающееся обильным семеношением, в т. ч. гроздевидной формы. Проведенные стационарное, а затем и государственное испытание потомства гибридно-семенной плантации на интенсивность роста в высоту и хозяйственную полезность позволили зарегистрировать сорт сосны обыкновенной «Негорельская».

Результаты исследований и их обсуждение. Оценку урожайности лесосеменного сырья на плантации проводили по специальной шкале урожайности деревьев на ЛСП сосны обыкновенной в зависимости от возраста. В соответствии с этой шкалой учету урожайности были подвергнуты все деревья на плантации с последующим присвоением каждому из них балла семеношения. Результаты учета семеношения клонов на гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной второго поколения 2004 г. создания представлены в табл. 1. Следует отметить, что на гибридно-семенной плантации второго поколения встречаются как обильно семеносящие клоны, так и клоны с отсутствием семеношения, выполняющие роль опылителей.

Данные по урожайности гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной второго поколения 2004 г. создания представлены в табл. 2.

На гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной второго поколения проведена заготовка лесосеменного сырья и оценка его качества. Характеристика лесосеменного сырья сосны обыкновенной представлена в табл. 3.

Важной особенностью семеношения ряда клонов на гибридно-семенной плантации второго поколения является гроздевидное семеношение, при котором шишки расположены на побеге в виде грозди с их количеством в мутовке до 8 шт. С помощью шкалы хозяйственной оценки уро-

жайности лесосеменных плантаций сосны обыкновенной в Беларуси рассчитана урожайность лесосеменной плантации сосны обыкновенной второго поколения Негорельского учебно-опытного лесхоза, которая составила 16 кг семян с 1 га.

На плантации также проводился учет заложения шишечек сосны обыкновенной будущего урожая, т. е. осуществлялись прогнозирование и учет урожайности семенных деревьев на 2017 г. Результаты учета показывают, что семенные деревья на плантации в будущем году будут продуцировать в достаточном количестве семян, примерно на уровне семеношения нынешнего года, т. е. около 14 кг семян с 1 га.

Важной особенностью заложения шишечек будущего урожая семян является и то, что у семенных деревьев наблюдается гроздевидное заложение шишечек, причем их количество в одной грозди достигает 11 шт. У отдельных клонов гроздевидное заложение шишечек просматривается не только на центральном побеге, но и на всех боковых ветвях, что в последующем существенно увеличит урожайность деревьев на гибридно-семенной плантации.

Все заготовленные на гибридно-семенной плантации второго поколения шишки сосны обыкновенной сорта «Негорельская» были разделены на две группы – крупные и средние и мелкие шишки. Установлено, что среди клонов с обычным семеношением длина шишек колеблется от 3,1 до 4,8 см, средняя масса одной шишки варьирует от 3,1 до 8,5 г, среднее количество семян в одной шишке по всем клонам составляет 19 шт. Средняя масса 1000 семян составляет 6,43 г, выход семян из шишек – 1,47%. Цвет семян у всех групп шишек черный, апофиз шишек – пирамидальный.

Среди клонов с гроздевидным семеношением средняя длина шишек составляет 4,2 см (колеблется от 3,6 до 5,1 см), средняя масса одной шишки равна 7,1 г (по клонам – от 5,3 до 8,9 г), среднее по всем клонам количество семян в одной шишке – 20 шт. Масса 1000 семян – 6,52 г, выход семян из шишек – 1,57%.

Таблица 1

Результаты прогноза семеношения клонов на гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной второго поколения 2004 г. создания

Количество деревьев, шт.	В т. ч. по баллам семеношения						Средний балл семеношения
	1	2	3	4	5	несеменосящие	
78	6	11	33	12	5	11	3,0

Таблица 2

Фактическая урожайность гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной второго поколения 2004 г. создания

Количество деревьев, шт.	Среднее количество шишек на дереве, шт.	Общее количество шишек, шт.	Масса одной шишки, г	Общая масса шишек, кг	Выход семян, %	Масса семян с плантации, кг	Урожай семян с 1 га, кг
78	390	30 420	11,2	340,0	1,2	4,0	13,5

**Характеристика лесосеменного сырья сосны обыкновенной (обычного и гроздевидного семеношения)
на клоновой гибридно-семенной плантации второго поколения в 13-летнем возрасте**

Номер клона	Характеристика шишек				Характеристика семян							
	<i>L</i> , см	<i>D</i> , см	<i>M</i> , г	форма	количество полнозерни- стых семян в одной шишке, шт./%	полнозернистость семян, %	выход семян из шишек, %	масса 1000 семян, г	энергия прорастания, %	техническая всхожесть, %	средний семенной покой, дней	
Обычное семеношение												
1–6	4,1 ± 0,05	2,1 ± 0,03	6,2 ± 0,11	Широкая	17,1/91,4	91,4	1,31	6,17	84	95	3,83	
1–8	4,0 ± 0,11	2,0 ± 0,03	6,5 ± 0,57	Яйцевидная	19,6/91,2	91,2	1,56	5,76	71	92	3,78	
3–3	4,8 ± 0,05	2,3 ± 0,03	8,5 ± 0,19	Яйцевидная	19,9/90,5	90,5	1,84	6,44	83	98	4,57	
3–5	4,7 ± 0,21	2,2 ± 0,05	7,4 ± 0,37	Яйцевидная	21,7/92,6	92,6	1,75	7,11	88	100	3,31	
5–5	4,3 ± 0,19	2,0 ± 0,03	6,6 ± 0,49	Яйцевидная	17,4/92,6	92,6	1,59	5,98	87	99	3,77	
6–3	4,0 ± 0,17	2,0 ± 0,08	6,2 ± 0,56	Яйцевидная	16,7/92,8	92,8	1,49	6,73	69	96	4,89	
8–8	3,8 ± 0,10	1,9 ± 0,06	4,1 ± 0,34	Яйцевидная	18,4/91,5	91,5	1,17	6,86	76	98	4,52	
10–8	3,1 ± 0,08	1,6 ± 0,03	3,7 ± 0,17	Широкая	19,6/90,3	90,3	1,06	6,37	71	97	4,76	
Среднее	4,0 ± 0,04	2,0 ± 0,02	5,7 ± 0,12	Яйцевидная	18,8/91,6	91,6	1,47	6,43	79	97	4,19	
Гроздевидное семеношение												
1–6	4,5 ± 0,16	2,2 ± 0,06	7,6 ± 0,52	Яйцевидная	21,3/93,8	93,8	1,64	6,89	77	93	4,13	
1–8	4,9 ± 0,15	2,2 ± 0,07	8,5 ± 0,71	Яйцевидная	22,2/93,3	93,3	1,87	6,21	84	97	4,02	
3–3	4,6 ± 0,11	2,1 ± 0,08	7,9 ± 0,39	Яйцевидная	18,6/90,7	90,7	1,55	6,67	87	96	3,67	
3–5	5,1 ± 0,26	2,4 ± 0,06	8,9 ± 0,84	Яйцевидная	27,4/92,3	92,3	2,02	7,34	85	98	3,55	
6–3	4,0 ± 0,18	2,2 ± 0,04	5,7 ± 0,63	Широкая	14,3/91,9	91,9	1,46	6,81	74	93	4,21	
5–5	3,7 ± 0,38	1,8 ± 0,18	6,9 ± 1,05	Яйцевидная	16,8/93,4	93,4	1,34	6,08	73	95	4,36	
8–8	3,5 ± 0,19	1,9 ± 0,23	5,8 ± 0,84	Широкая	17,6/92,7	92,7	1,41	5,63	78	95	4,17	
10–8	3,6 ± 0,27	1,9 ± 0,17	5,3 ± 0,74	Широкая	21,5/94,3	94,3	1,27	6,56	80	99	4,44	
Среднее	4,2 ± 0,05	2,1 ± 0,03	7,1 ± 0,15	Яйцевидная	20,0/92,8	92,8	1,57	6,52	80	98	4,07	

Таблица 4

Показатели роста и состояния сеянцев сосны обыкновенной

Вариант	Высота сеянцев, см	Диаметр у корневой шейки сеянцев, мм	Доля сеянцев с 6 и более семядолями, %	Охвоение стволика, %
Потомство клонов со слабым уровнем семеношения	6,5 ± 0,2	1,7 ± 0,05	61,5	87,0
Потомство клонов со средним уровнем семеношения	6,6 ± 0,2	1,8 ± 0,05	64,0	85,0
Потомство клонов с обильным уровнем семеношения	7,1 ± 0,3	2,0 ± 0,10	67,0	90,0
Контроль	6,6 ± 0,2	1,7 ± 0,05	59,5	85,0

Семена для посева были заготовлены зимой прошлого года на гибридно-семенной плантации второго поколения. Посевы созданы на территории питомника Негорельского УОЛ.

В качестве показателей роста и состояния сеянцев сосны обыкновенной нами учитывались высота сеянцев, диаметр у корневой шейки стволика, доленое участие всходов с 6 и более семядолями, охвоенность сеянцев (табл. 4).

Первый вариант составляют сеянцы, выращенные из семян слабо семеносящих клонов; во второй вариант вошли сеянцы, полученные из семян клонов со средним уровнем семеношения; третий вариант сеянцев представлен потомством от обильно семеносящих клонов. Четвертый вариант включает контроль, представленный семенным потомством клонов лесосеменной плантации ГЛХУ «Слущкий лесхоз».

Анализ изучаемых показателей роста и состояния сеянцев сосны обыкновенной показывает, что имеются некоторые различия среди исследуемых вариантов. Так, высота сеянцев в опыте колеблется от 6,5 до 7,1 см, причем в варианте с обильно семеносящими клонами данный показатель стал наибольшим, однако различия оказались статистически недостоверными. В контроле высота сеянцев составляет 6,6 см. Практически у всех вариантов оказался одинаковым такой показатель, как диаметр у корневой шейки стволика, он колеблется от 1,7 до 2,0 мм

(в контроле – 1,7 мм). Достоверность различий также статистически не подтверждается.

По доле участия сеянцев, выращенных из всходов с 6 и более семядолями, наибольшее количество их (67%) в варианте потомства обильно семеносящих клонов. У потомства от клонов со средним и слабым семеношением доленое участие данных сеянцев составляет соответственно 64 и 61,5%, в контроле – 59,5%.

Охвоенность стволика сеянцев сосны обыкновенной практически одинаковая во всех вариантах и колеблется в пределах 85–90% (в контроле – 85%).

Заключение. Таким образом, в результате проведенных исследований по оценке посевного и посадочного материала сосны обыкновенной установлено:

- семенная продуктивность (урожайность) гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной Негорельского УОЛХ составляет 13,5 кг семян с 1 га;

- посевные качества сортовых семян сосны обыкновенной отличаются высокими показателями (масса 1000 семян – 5,63–7,34 г; энергия прорастания семян – 71–88%; техническая всхожесть семян – 92–100%);

- посадочный материал сосны обыкновенной, выращенный из семян гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной, характеризуется высоким качеством.

Литература

1. Ребко С. В. Семеношение клоновой гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной Негорельского учебно-опытного лесхоза // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы III Всеросс. науч.-техн. конф. асп. 2007. Ч. 2. С. 138–141.
2. Ребко С. В. Особенности плодоношения и содержание пигментов в хвое гибридного потомства сосны обыкновенной // Сб. науч. тр. ИЛ НАН Беларуси. 2008. Вып. 68. С. 270–281.
3. Особенности роста гибридных форм сосны обыкновенной в лесных культурах / С. В. Ребко [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 234–237.
4. Поплавская Л. Ф. Возрастная динамика роста отдельных семей гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной в различных лесорастительных районах // Труды БГТУ. 2014. № 1 (165): Лесное хоз-во. С. 163–166.
5. Ребко С. В. Рост потомства гибридно-семенной плантации в испытательных культурах // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во. 2008. Вып. XVI. С. 231–233.
6. Поплавская Л. Ф., Тупик П. В., Ребко С. В. Динамика роста культур сосны обыкновенной

сорта «Негорельская» // Труды БГТУ. 2015. № 1 (174): Лесное хоз-во. С. 153–156.

7. Поплавская Л. Ф., Ребко С. В. Рост, продуктивность и наследуемость высоты семенного потомства гибридно-семенной плантации сосны обыкновенной в 7-летнем возрасте // Труды БГТУ. 2016. № 1 (183): Лесное хоз-во. С. 124–128.

8. Манцевич Е. Д. Влияние географического происхождения семян сосны на рост сеянцев // Ботаника. Исследования. 1967. Вып. IX. С. 222–227.

References

1. Rebko S. V. [Seed of the clonal hybrid-seed plantation of Scots pine of the Negoreloe Forest experimental station]. *Materialy III Vseross. nauch.-tekhn. konferentsii aspirantov («Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii»)* [Materials of the All-Russian scientific and technical conference of graduate students («Scientific creativity of young people – the forestry complex of Russia»)], 2007, part 2, pp. 138–141 (In Russian).

2. Rebko S. V. Features of fruiting and pigment content in the needles of hybrid progeny of Scots pine. *Sbornik nauchnykh trudov Institutata lesa NAN Belarusi* [Collection of scientific works of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus], 2008, no. 68, pp. 270–281 (In Russian).

3. Rebko S. V., Poplavskaya L. F., Yakimov N. I., Seroglazova L. M. Peculiarities of growth of hybrid forms of Scots pine in forest cultures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2008, series 1, Forestry, issue XVI, pp. 234–237 (In Russian).

4. Poplavskaya L. F. Age dynamics of growth of individual families of hybrid-seed plantation of Scots pine in various forest areas. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1 (165): Forestry, pp. 163–166 (In Russian).

5. Rebko S. V. Growth in the offspring of a hybrid seed plantation in test cultures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2008, series 1, Forestry, issue XVI, pp. 288–291 (In Russian).

6. Poplavskaya L. F., Tupik P. V., Rebko S. V. Growth dynamics of forest cultures of a Scots pine of an variety “Negorelskaya”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1 (174): Forestry, pp. 153–156 (In Russian).

7. Poplavskaya L. F., Tupik P. V., Rebko S. V. Growth, productivity and heritability of the height of seed offspring of the hybrid-seed plantation of Scots pine at the age of 7. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1 (183): Forestry, pp. 124–128 (In Russian).

8. Mantsevich E. D. The influence of the geographical origin of pine seeds on the growth of seedlings. *Botanika. Issledovaniya* [Botany. Research], 1967, no. 9, pp. 222–227 (In Russian).

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

Poplavskaya Liliya Frantsevna – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: poplavskaya@belstu.by

Rebko Sergey 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: rebko@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: tupik@belstu.by

Поступила 17.11.2017

УДК 630*232.329

Н. И. Якимов, Н. К. Крук, А. В. Юрения

Белорусский государственный технологический университет

**АГРОТЕХНИКА ВЫРАЩИВАНИЯ СЕЯНЦЕВ
СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В УСЛОВИЯХ ЗАКРЫТОГО ГРУНТА**

Микроклиматические условия в теплицах обуславливают более высокую энергию прорастания и грунтовую всхожесть семян древесных видов, обеспечивают более интенсивный рост сеянцев по сравнению с открытым грунтом. Условия закрытого грунта способствуют достижению высокой грунтовой всхожести семян сосны до 90–92%. Всходы сосны в теплице появляются на 8–9-й день. Проведение комплекса агротехнических мероприятий, включающих регулярные поливы, внесение в субстрат минеральных удобрений, проведение подкормок комплексным удобрением со сбалансированным соотношением макро- и микроэлементов, борьба с болезнями и сорняками с использованием современных средств защиты позволяет добиться высокого выхода стандартных сеянцев с 1 м² площади теплицы. Однолетние сеянцы сосны, выращенные в теплице, по средней высоте (18,1 см) и диаметру корневой шейки (2,3 мм) значительно превосходят нормативные биометрические показатели. Количество сеянцев на 1 м² продуцирующей площади составляет в среднем 1200 шт., из них стандартных – 90–92%. В целом выход стандартных сеянцев с 0,5 га закрытого грунта составляет 5 млн шт.

Ключевые слова: теплица, сосна, сеянцы, выращивание, технология, агротехника.

N. I. Yakimov, N. K. Kruk, A. V. Yurenia

Belarusian State Technological University

**AGRICULTURAL CULTIVATION OF SEEDLINGS OF SCOTS PINE
IN A GREENHOUSE**

Microclimatic conditions in greenhouses contribute to the higher energy growth and soil seed germination of woody species, provide more intensive growth of seedlings compared to open ground. The conditions of the closed ground promote the achievement of high soil germination of pine seeds to 90–92%. Pine trees in the greenhouse appear on the 8–9 day. A complex of agrotechnical measures, including regular watering, introduction into the substrate of mineral fertilizers, conducting of dressing complex fertilizer with a balanced ratio—the wearing of macro – and micronutrients, diseases and weeds with the use of modern means of protection allows to achieve a high yield of standard seedlings with a 1 m² area of greenhouse. The pine seedlings in a greenhouse, at an average altitude (18.1 cm) and root collar diameter (2.3 mm) significantly exceed the regulatory biometrics. The number of seedlings per 1 m² of producing area is an average of 1200 pieces, of which standard – 90–92%. The yield of standard seedlings with 0.5 ha of greenhouses is 5 million pieces.

Key words: greenhouse, pine, seedlings, cultivation, technology, agricultural.

Введение. В настоящее время выращивание посадочного материала для лесовосстановления широко распространено в лесхозах республики. Исследования и производственный опыт показывают, что перспективным для лесовосстановления является молодой (возрастом 1–2 года), но достаточно крупный посадочный материал, который хорошо приживается и лучше противостоит заглушению травянистой растительностью [1]. Таким требованиям отвечают сеянцы, выращенные в теплицах. Технология тепличного выращивания сеянцев имеет преимущество в том, что в открытых питомниках на рост посадочного материала влияют климатические и погодные условия. Если с помощью агротехнических мероприятий можно улучшить физические и химические свойства почвы, условия питания и водную обеспеченность растений, то повысить

температуру воздуха и почвы в открытом грунте практически невозможно. Поэтому хороший рост сеянцев древесных растений в защищенном грунте достигается оптимизацией светового, водного, теплового режимов и минерального питания. Условия микроклимата в теплицах влияют на протекание физиологических процессов растений, в частности на фотосинтез, дыхание и транспирацию. Экологические условия в теплицах в сочетании с регулярными поливами обуславливают более высокую энергию прорастания и грунтовую всхожесть семян по сравнению с открытыми питомниками [2, 3]. Однолетние сеянцы сосны на открытом участке и в теплицах растут в течение всего вегетационного периода. При этом рост сеянцев в теплицах протекает гораздо интенсивнее, чем на открытом участке, особенно в конце вегетации [3, 4].

Вопросы выращивания посадочного материала лесных пород в закрытом грунте освещены во многих публикациях [3–14], тем не менее агротехника и технология выращивания требуют постоянного совершенствования в связи с появлением новых средств механизации, новых видов удобрений, стимуляторов роста и гербицидов.

Основная часть. Исследования проводились в тепличном хозяйстве Глубокского опытного лесхоза, что позволило обобщить производственный опыт выращивания сеянцев сосны в условиях закрытого грунта и разработать технологические процессы.

В лесхозе имеется теплица площадью 1,0 га, в которой 0,5 га отведено для выращивания сеянцев сосны. В середине апреля теплица накрывается полиэтиленовой пленкой. Для закаливания сеянцев, начиная с первой декады августа, пленка постепенно снимается, сначала с торцов и боковых сторон теплицы, а потом с верхней части. Работы по раскрытию теплицы ведутся в течение месяца и заканчиваются в первой декаде сентября, когда однолетние сеянцы сосны начинают закладку верхушечной почки.

Для выращивания сеянцев в теплицах используются различные субстраты: торф верховых, переходных и низинных типов болот, компосты и смеси почвы с разными компонентами [3–5]. В тепличном хозяйстве лесхоза для выращивания сеянцев в качестве субстрата используется верховой торф, который завозится в теплицу в марте из расчета 1000 т на 1,0 га закрытого грунта. После нанесения слоя торфа в 20–25 см проводится многократная культивация (5–6 раз) с ручной выборкой крупных растительных остатков.

Непосредственно перед посевом осуществляется фрезерование субстрата с нарезкой посевных лент фрезой ФПШ-1,3, агрегируемой с трактором МТЗ-320. После этого в субстрат вносятся минеральные удобрения в дозе $N_{90}P_{120}K_{90}$. В качестве фосфорного удобрения используется двойной суперфосфат, калийного – калийная соль, азотного – аммиачная селитра. Для предупреждения полегания сеянцев равномерно по поверхности субстрата разбрасывается триходермин из расчета 25 г/м².

Для повышения грунтовой всхожести, получения дружных всходов и повышения устойчивости к болезням в 35–45 дней проводят снегование семян. Вначале семена намачивают в талой воде в течение 24 ч, затем их насыпают в мешки из редкой, но прочной ткани слоем 3–4 см и помещают под слой утрамбованного снега (50–60 см) в леднике, выдерживают там до посева.

В день посева семена извлекают из мешков и намачивают в водной суспензии бревесина, содержащей 10 г препарата в 1 л, из расчета 2 л раствора на 1 кг семян. После этого семена просушивают на солнечном свете до состояния сыпучести и высевают.

Посев проводится во второй половине апреля сеялкой «Эгедал» с трактором МТЗ-320. Семена высеваются вразброс, норма высева составляет 78 кг/га, глубина заделки – 0,5 см. После этого посева прикатывают катком и мульчируют торфом слоем 1,0–1,5 см.

Условия закрытого грунта способствуют высокой грунтовой всхожести семян, которая для сосны составляет 90–92% [2]. Всходы появляются на 8–9-й день. До появления всходов уход за посевами заключается в регулярных поливах в количестве трех раз в день. После появления всходов поливы сокращают до двух раз в день, теплицу регулярно проветривают для снижения температуры и предупреждения полегания всходов.

Для проведения подкормок используется водорастворимое комплексное удобрение Кристалон со сбалансированным соотношением макро- и микроэлементов на хелатной основе без содержания хлора. Через 2 нед. после появления всходов проводится внекорневая подкормка комплексным удобрением Кристалон «Особый», которое имеет одинаковое содержание основных элементов питания. Для подкормки используется 1,0%-ный водный раствор с расходом 60 мл/м² из расчета 3 кг/га.

Через 2 нед. после внекорневой подкормки проводится корневая подкормка аммиачной селитрой в дозе 40 кг/га по действующему веществу. Далее корневые и внекорневые подкормки чередуются с интервалом в 2 нед. (табл. 1). Во второй декаде июля для формирования одревесневших стволиков сеянцев выполняется корневая подкормка двойным суперфосфатом из расчета 45 кг по действующему веществу на 1 га.

Через 2–3 нед. после этого осуществляется внекорневая подкормка комплексным удобрением Кристалон «Желтый» с повышенным содержанием подвижных форм фосфора.

Это способствует развитию корневой системы растений. Доза внесения в теплице Кристалона «Желтый» составляет 3 кг/га.

Все виды подкормок проводятся трактором МТЗ-320 в агрегате с культиватором «Эгедал». За сезон выполняют 3 ручные прополки. Для борьбы с болезнями проводится 4-кратная обработка раствором препарата «Колосаль-Про» из расчета 0,5 л/га.

Таблица 1

Система подкормок при выращивании сеянцев сосны в закрытом грунте

Возраст сеянцев, дни	Вид подкормки	Применяемые удобрения	Содержание элементов питания, %	Концентрация раствора, по препарату, %	Расход удобрения, кг/га
10–15	Некорневая	Кристалон «Особый»	$N_{18}P_{18}K_{18} + MЭ$	1,0	3
30	Корневая	Аммиачная селитра	N_{34}	–	40
45	Некорневая	Кристалон «Особый»	$N_{18}P_{18}K_{18} + MЭ$	1,0	3
60	Корневая	Аммиачная селитра	N_{34}	–	40
75	Некорневая	Кристалон «Особый»	$N_{18}P_{18}K_{18} + MЭ$	1,0	3
90	Корневая	Двойной суперфосфат	P_{45}	–	45
110–120	Некорневая	Кристалон «Желтый»	$N_{13}P_{40}K_{13} + MЭ$	1,0	3

Таблица 2

Биометрические показатели сеянцев сосны в теплице

Биометрические показатели	Величина показателей
Средняя высота, см	$18,1 \pm 0,42$
Среднее квадратическое отклонение, $\pm\delta$	3,0
Коэффициент варьирования по высоте, %	16,5
Средняя толщина стволика у корневой шейки, мм	$2,5 \pm 0,03$
Среднее квадратическое отклонение, $\pm\delta$	0,25
Коэффициент варьирования по толщине корневой шейки, %	10,0
Длина корней, см	19,0
Масса сеянца в воздушно-сухом состоянии, г	1,3

Однолетние сеянцы сосны, выращенные в теплице, по средней высоте (18,1 см) и толщине корневой шейки (2,5 мм) значительно превосходят нормативные биометрические показатели (табл. 2).

В соответствии с ТКП 575-2015 двухлетние сеянцы сосны должны иметь высоту не менее 12 см, а толщину корневой шейки не менее 2 мм [9].

В условиях теплицы сеянцы более выровнены по высоте, их варьирование минимальное и составляет 16,5%. В открытом грунте вариация сеянцев по высоте может достигать 25–30% [15]. Средняя толщина стволика у корневой шейки составляет 2,5 мм, длина корней сеянцев составляет 19,0 см, а масса одного сеянца в воздушно-сухом состоянии – 1,3 г.

В тепличном хозяйстве проведены исследования по применению гербицидов для уничтожения сорняков. После посева на

опытной грядке был внесен почвенный гербицид ГОАЛ-2Е в дозе 3 л/га. Через 3 нед. количество сорняков на 10 м² составило всего 3 шт., в то время как в контрольном варианте на 1 м² насчитывалось около 620 шт. сорных растений.

По результатам инвентаризации сеянцев, которая проводится в начале сентября, количество сеянцев на 1 м² продуцирующей площади теплицы составляет в среднем 1200 шт., из них стандартных – 90–92%. В целом выход стандартных сеянцев сосны обыкновенной с 0,5 га закрытого грунта составляет 5 млн шт. При более густых посевах ухудшается качество посадочного материала, в то время как норма выхода с 1 га открытого грунта сосны составляет 2,2 млн шт. [6].

Основные технологические операции по выращиванию сеянцев сосны в закрытом грунте представлены в табл. 3.

Таблица 3

**Технологические процессы
по выращиванию однолетних сеянцев сосны в закрытом грунте**

Вид посева	Норма высева семян, кг/га	Технологические операции			
		Субстрат и его подготовка	Посев семян	Поливы, удобрения и подкормки	Выкопка посадочного материала
Вразброс	78	Верховой торф, фрезерование МТЗ-320 ФПШ-1,3	МТЗ-320 сеялка «Эгедал»	<p><u>Основное удобрение</u> (перед посевом) – $N_{90}P_{120}K_{90}$.</p> <p><u>Поливы</u> (стационарная поливная система): до появления всходов – 3 раза в день, после появления всходов – 2 раза в день.</p> <p><u>Подкормки</u> (МТЗ-320 с опрыскивателем «Эгедал») при возрасте сеянцев:</p> <p>10–15, 45 и 75 дней – Кристалон «Особый»</p> <p>110–120 дней – Кристалон «Желтый»</p> <p>30 и 60 дней – аммиачная селитра</p> <p>90 дней – двойной суперфосфат</p>	Осенью первого года выращивания или ранней весной следующего года

Заключение. Проведение комплекса агротехнических мероприятий, включающих регулярные поливы, внесение в субстрат минеральных удобрений, осуществление подкормок комплексным удобрением Кристалон со сбалансированным соотношением макро- и микроэлементов, борьба с болезнями и сорняками с использованием современных средств защиты

позволяет добиться высокого выхода стандартных сеянцев сосны обыкновенной с 1 м^2 производящей площади теплицы. Количество сеянцев на 1 м^2 производящей площади составляет в среднем 1200 шт., из них стандартных – 90–92%. В целом выход стандартных сеянцев в пересчете на 1 га закрытого грунта составляет 10 млн шт.

Литература

1. Копытков В. В. Современные технологии и агротехнические приемы по выращиванию, хранению и транспортировке посадочного материала с использованием композиционных полимерных составов. Минск: Акад. упр. при Президенте Республики Беларусь, 2007. 147 с.
2. Якимов Н. И., Крук Н. К., Юренин А. В. Биометрические показатели и густота однолетних сеянцев сосны и ели в закрытом грунте при разных нормах высева семян // Проблемы лесоведения и лесоводства. Гомель, 2016. Вып. 76. С. 302–306.
3. Синников А. С., Мочалов Б. А., Драчков В. Н. Выращивание сеянцев хвойных пород в полиэтиленовых теплицах. М.: Агропромиздат, 1986. 125 с.
4. Игаунис Г. А. Выращивание посадочного материала в теплицах с синтетическим покрытием. М.: Лесная пром-сть, 1974. 236 с.
5. Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Праходский А. Н. Лесные культуры и защитное лесоразведение. Минск: БГТУ, 2007. 311 с.
6. Юшка В. И., Градецкас А. И. Опыт выращивания сеянцев сосны и ели в теплице с полиэтиленовым покрытием. Каунас: ЛитНИИЛХ, 1970. 20 с.
7. Родин А. Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 77 с.
8. Смирнов Н. А. Выращивание посадочного материала для лесовосстановления. М.: Лесная пром-сть, 1981. 169 с.
9. Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых видов в лесных питомниках республики Беларусь: ТКП 575-2015/2015. 55 с.
10. Рекомендации по выращиванию посадочного материала хвойных пород в полиэтиленовых теплицах. Архангельск, 1977. 12 с.
11. Технология выращивания посадочного материала в контролируемой среде. Методические рекомендации ЛитНИИЛХ. Каунас, 1982. 20 с.
12. Kazimierz Szabla, Robert Pabian Szkółkarstwo kontenerowe. Warszawa, 2009. 250 s.

13. Pascal Nzokou, Bert M. Cregg Morphology and foliar chemistry of containerized *Abies fraseri* (Pursh) Poir. seedlings as affected by water availability and nutrition // *Annals of Forest Science*. January, 2010. Vol. 67, issue 6. P. 602–612.

14. Pamela Calvo, Louise Nelson, Joseph W. Kloepper Agricultural uses of plant biostimulants // *Plant and Soil*. October, 2014. Vol. 383, issue 1–2. P. 3–41.

15. Ларин В. Б., Паутов Ю. А. Формирование хвойных молодняков на вырубках. Л.: Наука, 1989. 145 с.

References

1. Копытков В. В. *Sovremennyye tekhnologii i agrotekhnicheskiye priemy po vyrashchivaniyu, khraneniyu i transportirovke posadochnogo materiala s ispol'zovaniem kompozitsionnykh polimernykh sostavov* [Modern technologies and farming techniques for growing, storage and transport of planting material using composite polymeric compositions]. Minsk, Akad. upr. pri Prezidente Respubliki Belarus' Publ., 2007. 147 p.

2. Yakimov N. I., Kruk N. K., Yurenja A. V. Biometric indices and density of annual seedlings of pine and spruce in closed ground at different rates of seed sowing. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of Forest and Forestry]. Gomel', 2016, vol. 76, pp. 302–306 (In Russian).

3. Sinnikov A. S., Molchanov B. D., Drachkov V. N. *Vyrashchivaniye seyantsev khvoynykh porod v polietilenovykh teplitsakh* [Growing of coniferous seedlings in polyethylene greenhouses]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1986. 125 p.

4. Igaunis G. A. *Vyrashchivaniye posadochnogo materiala v teplitsakh s sinteticheskim pokrytiyem*. [Cultivation of planting material in greenhouses with synthetic coating]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1974. 236 p.

5. Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Prakhodskiy A. N. *Lesnyye kul'tury i zashchitnoye lesorazvedeniye*. [Plantations and protective wood cultivation]. Minsk, BGТУ Publ., 2007. 311 p.

6. Yushka V. I., Gradetskay A. I. *Opyt vyrashchivaniya seyantsev sosny i yeli v teplitse s polietilenovym pokrytiyem* [Experience in growing pine and spruce seedlings in a greenhouse with a polyethylene coating]. Kaunas, LitNIILKh Publ., 1970. 20 p.

7. Rodin A. R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of growing forest planting material]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 78 p.

8. Smirnov N. A. *Vyrashchivaniye posadochnogo materiala dlya lesovosstanovleniya* [Growing of planting stock for reforestation]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1981. 169 p.

9. ТКР 575-2015. Manual planting stock of tree and shrub species in the forest nurseries of the Republic of Belarus. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2015. 55 p. (In Russian).

10. *Rekomendatsii po vyrashchivaniyu posadochnogo materiala khvoynykh porod v polietilenovykh teplitsakh* [Recommendations for growing coniferous planting material in polyethylene greenhouses]. Arkhangel'sk, 1977. 12 p.

11. *Tekhnologiya vyrashchivaniya posadochnogo materiala v kontroliruemoy srede. Metodicheskiye pekomentatsii LitNIILKh* [Technology of cultivation of planting material in a controlled environment. Methodical recommendations LitNIILKh]. Kaunas, 1982. 20 p.

12. Kazimierz Szabla, Robert Pabian. *Szkołkarstwo kontenerowe*. Warszawa, 2009. 250 s.

13. Pascal Nzokou, Bert M. Cregg. Morphology and foliar chemistry of containerized *Abies fraseri* (Pursh) Poir. seedlings as affected by water availability and nutrition. *Annals of Forest Science*. January, 2010, vol. 67, issue 6, pp. 602–612.

14. Pamela Calvo, Louise Nelson, Joseph W. Kloepper. Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*. October, 2014, vol. 383, issue 1–2, pp. 3–41.

15. Larin V. B., Pautov Yu. A. *Formirovaniye khvoynykh molodnyakov na vyrubkakh* [Formation of coniferous young growth on felling areas]. Leningrad, Nauka Publ., 1989. 145 p.

Информация об авторах

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

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

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

Information about the authors

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

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

Поступила 01.10.2017

ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 630*414:632.951

А. В. Козел, Ю. А. Ларинина, А. И. Блинцов, А. В. Хвасько, Н. К. Крук
Белорусский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ПРОТРАВИТЕЛЕЙ СЕМЯН ИНСЕКТИЦИДНОГО ДЕЙСТВИЯ НА ПОСЕВНЫЕ КАЧЕСТВА СЕМЯН СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

В статье представлены результаты лабораторных опытов по определению влияния протравителей семян Круйзер, СК, Табу, ВСК, Койот, КС на техническую всхожесть, энергию прорастания и средний семенной покой семян сосны обыкновенной. Установлено отсутствие существенной разницы в технической всхожести и энергии прорастания семян между опытными вариантами и контролем. Отмечено положительное влияние препаратов Круйзер и Табу на всхожесть семян в первые дни. Испытанные препараты рекомендованы для дальнейшей оценки их биологической эффективности против почвообитающих вредителей в питомниках.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, протравители семян, всхожесть, энергия прорастания, семенной покой.

A. V. Kozel, Yu. A. Larinina, A. V. Khvas'ko, A. I. Blintsov, N. K. Kruk
Belarusian State Technological University

INFLUENCE OF SEED PROTECTANT OF INSECTICIDAL ACTION ON SEEDING QUALITIES OF SCOTS PINE SEEDS

The article presents the results of laboratory experiments on determination of the effect of Kraiser, SK, Tabu, VSK, Coyote, KS seed protectants on technical germination, germination energy and average seed dormancy of Scots pine seeds. It is established that there is no significant difference in the technical germination and energy of seed germination between the experimental variants and the control. The positive effect of the preparations Kruiser and Tabu on seed germination in the early days was noted. The tested preparations are recommended for further evaluation of their biological effectiveness against soil-borne pests in nurseries.

Key words: *Pinus sylvestris*, seed protectants, viability, energy of germination, seed dormancy.

Введение. Выращивание высококачественного посадочного материала древесных растений – одна из основных производственных задач лесного хозяйства. Качество посадочного материала, его наследственные свойства во многом определяют продуктивность будущих лесов. С каждым годом значимость посадочного материала возрастает в связи с тем, что в районах интенсивного ведения лесного хозяйства лесовосстановление осуществляется в основном только лесокультурными методами. Однако достаточно часто ведение питомнического хозяйства сопряжено с рядом трудностей, в числе которых – почвообитающие вредители, повреждающие корни, прорастающие семена, всходы и сильно снижающие качество посадочного материала, принося тем самым в отдельных случаях значительный ущерб лесному хозяйству. Для эффективной защиты сеянцев и

саженцев от этих вредителей необходимо выполнение комплекса профилактических и защитных мероприятий (лесохозяйственных, лесокультурных, физико-механических, химических и др.).

В «Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных для применения в Республике Беларусь» [1] для защиты хвойных растений от вредителей корней путем предпосевного протравливания семян включены препараты Вулкан, ТПС; Койот, КС; путем обмакивания корневой системы сеянцев и саженцев в торфяно-инсектицидную смесь перед посадкой – препараты Гриззли, Г; Табу, ВСК; Имидалит, ТПС; Вулкан, ТПС; Имидор ПРО, КС; Койот, КС; Круйзер, СК; Боверин зерновой-БЛ, путем внесения в почву возле молодых растущих сеянцев – препараты Вулкан, ТПС и Койот, КС. Некоторые

препараты из этого перечня имеют высокую токсичность для окружающей среды и человека, находятся в списке высокоопасных пестицидов и запрещены для применения в ГЛХУ, прошедших сертификацию лесопользования и лесопользования по стандартам Лесного попечительского совета (FSC). Также при длительном применении одних и тех же препаратов у ризофагов возникает устойчивость к ним. Поэтому исследования по расширению ассортимента пестицидов, включающего препараты с разными действующими веществами, испытанию и внедрению более высокоэффективных препаратов для защиты от корневых вредителей являются весьма актуальными.

В последнее время в практике защиты растений от вредителей достаточно широко применяют предпосевную обработку семян системными препаратами как наиболее рациональный и экономичный способ защиты, который при минимальной опасности загрязнения окружающей среды дает максимальный эффект при профилактической защите посевов.

Основная часть. Нами были отобраны наиболее перспективные инсектициды для апробации против почвообитающих вредителей в лесных питомниках – для предпосевной обработки семян – препараты – Круйзер, СК (тиаметоксам, 350 г/л) и Табу, ВСК (имidakлоприд, 500 г/л) в рекомендованных концентрациях [1].

Круйзер, СК – протравитель инсектицидной группы неоникотиноидов, системного действия. Действующее вещество – тиаметоксам, 350 г/л. Применяется для протравливания семян зерновых, подсолнечника, рапса и клубней картофеля против комплекса почвообитающих и наземных вредителей семян и молодых всходов. Препарат, нанесенный на семена, быстро поднимается по растению, делая его токсичным как для почвообитающих, так и для листовых вредителей. Препарат относится к третьему классу опасности, не токсичен для теплокровных животных, слаботоксичен для рыб, высокотоксичен для пчел. Нанесенный на семена, препарат не пылит, сводя к минимуму потери продукта. Совместим с некоторыми протравителями фунгицидного действия. Период действия – от протравливания перед посевом и до 4–5 недель после появления всходов. Действие препарата на насекомых-вредителей проявляется в момент контакта их с семенами, а также при питании проростками или подземными частями растений. Гибель вредителей наступает в течение нескольких часов [2].

Табу, ВСК – протравитель инсектицидной группы неоникотиноидов, системного действия. Действующее вещество – имidakлоприд, 500 г/л. Применяется для протравливания се-

мян подсолнечника и кукурузы, сахарной свеклы, рапса, ячменя, пшеницы, сои, льна-долгунца, клубней картофеля против целого ряда насекомых: колорадский жук, хлебная жужелица, проволочники, крестоцветные, льняные и хлебные блошки, цикадки, озимая совка, злаковая тля. Препарат, нанесенный на семена, проникает в ростки и молодые побеги. В организм вредителя попадает кишечным и контактными путями, там начинает проявлять нейротоксичную активность. Результат действия – паралич насекомого и его последующая гибель. Вредитель погибает через сутки после попадания препарата в организм. Препарат относится к третьему классу опасности, обладает высокой эффективностью независимо от погодных условий, не токсичен для пчел, дождевых червей, средне токсичен для млекопитающих и человека. Совместим с некоторыми протравителями фунгицидного действия. Действует в течение 40–45 сут. [3].

Кроме этого, данные препараты хорошо зарекомендовали себя ранее, включены в «Государственный реестр...» [1] и рекомендованы для обмакивания корневой системы сеянцев и саженцев хвойных пород перед посадкой с целью защиты их от вредителей корней (личинки хрущей, проволочники).

Перед началом полевых испытаний препаратов для защиты сеянцев и саженцев в питомнике от насекомых-ризофагов целесообразно проведение оценки их влияния на основные показатели посевных качеств семян в лабораторных условиях.

Для опыта использовались семена сосны обыкновенной, собранные в нормальных по селекционной оценке насаждениях ГЛХУ «Любанский лесхоз». Опыт проводили в четырехкратной повторности, для чего из чистых семян исследуемого образца отбирали 4 навески по 100 семян каждая. Протравливание семян пестицидами заключалось в нанесении на поверхность семян препаратов с одновременным смачиванием их водой из расчета 10 мл/кг семян. В опытных вариантах расход препаратов Круйзер и Табу составил 0,7 мл/кг семян. В качестве эталона при обработках использовали препарат Койот, КС (имidakлоприд, 600 г/л), включенный в «Государственный реестр...» и разрешенный для протравливания семян хвойных пород перед высевом в питомниках против вредителей корней [1]. Норма расхода для препарата Койот составила 1 мл/кг семян. В контроле семена обрабатывали чистой водой.

Проращивание семян осуществлялось на специальном лабораторном аппарате немецкой фирмы Rumed с автоматическими регулировками по ГОСТ 13056.6-97 [4]. Семена раскла-

дывали на ложе, в качестве которого использовали кружки и фитили из фильтровальной бумаги. Ложе увлажняли дистиллированной водой. Всхожесть оценивали на 3, 5, 7, 10, 15-е сут., удаляя нормально проросшие и загнившие семена, отмечая их в карточке анализа отдельно по каждой навеске (рисунок). Первым днем проращивания считался день, следующий за днем раскладки. Результаты прорастания семян по дням учета представлены в табл. 1.

В лабораторных условиях (табл. 1, рисунок) нормально проросшие семена во всех вариантах опыта появились только на 5-е сут. учета.

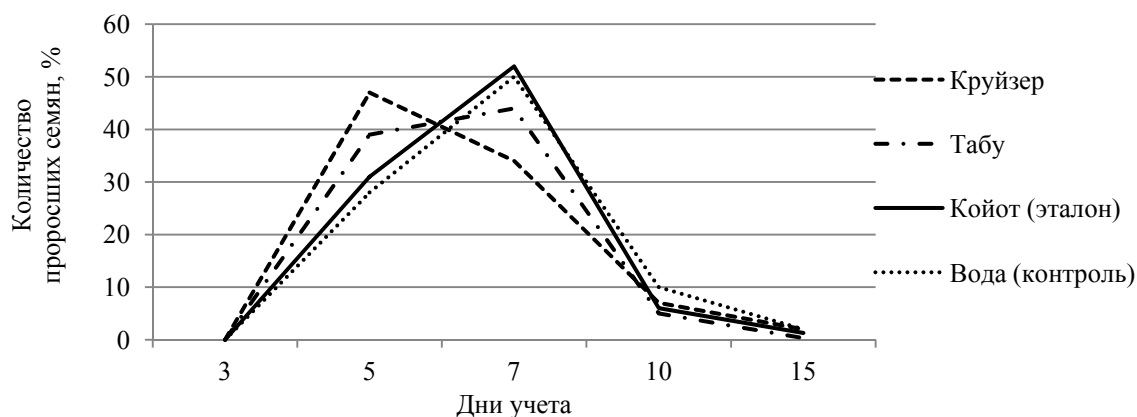
Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что испытанные препараты Круйзер и Табу ускорили прорастание семян на начальном этапе.

Пик прорастания у семян, обработанных Круйзером, отмечается на 5-е сут. проращивания (47% семян), у семян, обработанных Табу, – на 7-е (44%), однако и на 5-е сут. процент проросших семян достаточно высок (39%). Наибольшее количество проросших семян в эталонном и контрольном вариантах наблюдалось на 7-е сут. (52 и 50% соответственно).

Таблица 1

Данные по учету результатов прорастания семян сосны обыкновенной

Вариант опыта	Номер навески	Количество семян, взятых для анализа	Количество нормально проросших семян по дням учета, %					Среди непроросших семян, %					
			3-й	5-й	7-й	10-й	15-й	здоровых	ненормально проросших	беззародышевых	загнивших	пустых	запаренных
Круйзер, СК (тиаметоксам, 350 г/л)	1	100	–	51	29	7	1	3	–	–	8	–	1
	2	100	–	50	31	5	1	5	–	–	8	–	–
	3	100	–	42	34	9	3	2	–	–	10	–	–
	4	100	–	45	43	5	3	–	–	–	4	–	–
Табу, ВСК (имidakлоприд, 500 г/л)	1	100	–	48	38	5	–	3	–	–	5	–	1
	2	100	–	40	42	3	–	1	–	–	14	–	–
	3	100	–	39	49	3	1	2	–	–	5	–	1
	4	100	–	30	46	9	–	3	–	–	12	–	–
Койот, КС (имidakлоприд, 600 г/л) (эталон)	1	100	–	37	48	7	1	1	–	–	4	–	2
	2	100	–	30	52	5	3	2	1	–	7	–	–
	3	100	–	23	52	9	1	1	–	–	14	–	–
	4	100	–	35	55	2	–	2	–	–	5	–	1
Вода (контроль)	1	100	–	37	39	8	3	4	–	–	9	–	–
	2	100	–	20	50	10	3	3	–	–	14	–	–
	3	100	–	28	54	10	1	1	–	–	6	–	–
	4	100	–	25	58	10	1	–	–	–	6	–	–



Оценка результатов всхожести семян по проценту семян, проросших в дни учета

На основании полученных данных были рассчитаны следующие показатели: техническая всхожесть, энергия прорастания, средний семенной покой (табл. 2). Всхожесть семян устанавливали на 15-е сут проращивания, энергию прорастания – на 7-е сут.

Сравнивая показатели технической всхожести, энергии прорастания и среднего семенного покоя, следует отметить, что препараты не оказывали ингибирующего действия на прорастание семян. Средний семенной покой во всех вариантах опыта был одинаков и составил 6 дней. Энергия прорастания у семян, обработанных опытными препаратами Круйзер и Табу, оказалась несколько выше, чем в контрольном варианте – на 3 и 5% соответственно. Энергия прорастания у семян, обработанных Круйзером, была на 2% ниже, чем при обработке препаратом Койот (эталон), а обработанных Табу – такая же (83%). Техническая всхожесть у семян, обработанных препаратом Круйзер, на

1% превышает контрольный вариант, у семян, обработанных препаратом Табу – на 1% ниже, чем в контроле. По сравнению с эталонным вариантом техническая всхожесть семян, обработанных Табу, ниже на 2%, а обработанных Круйзером – на уровне эталона (90%).

С целью проверки достоверности полученных результатов нами была проведена обработка данных методами математической статистики на 5%-ном уровне значимости по рекомендациям Доспехова Б. А. [5], а также на ЭВМ с помощью Microsoft Excel, достоверность различий средних значений определяли с помощью *t*-критерия Стьюдента (табл. 3 и 4).

Коэффициент вариации во всех вариантах опыта при определении как технической всхожести, так и энергии прорастания составил менее 10%, что говорит о незначительном варьировании данных. Точность определения данных во всех случаях оказалась высокой (ниже 5%).

Таблица 2

Показатели качества семян

Вариант опыта	Всхожесть техническая, %	Энергия прорастания, %	Средний семенной покой, дни
Круйзер, СК (тиаметоксам, 350 г/л)	90	81	6
Табу, ВСК (имidakлоприд, 500 г/л)	88	83	6
Койот, КС (имidakлоприд, 600 г/л) (эталон)	90	83	6
Вода (контроль)	89	78	6

Таблица 3

Статистическая обработка результатов учета всхожести семян по вариантам опыта

Статистические показатели	Вариант опыта			
	Круйзер, СК (тиаметоксам, 350 г/л)	Табу, ВСК (имidakлоприд, 500 г/л)	Койот, КС (имidakлоприд, 600 г/л) (эталон)	Вода (контроль)
Всхожесть техническая				
$\bar{x} + t_{0,5} S_{\bar{x}}$	89,75 ± 6,67	88,25 ± 6,00	90,00 ± 5,66	89,25 ± 8,26
<i>S</i>	4,19	3,77	3,56	5,19
$S_{\bar{x}}$	2,10	1,89	1,78	2,59
<i>V</i> , %	4,7	4,3	3,9	5,8
<i>P</i> , %	2,3	2,1	2,0	2,9
Энергия прорастания				
$\bar{x} + t_{0,5} S_{\bar{x}}$	81,25 ± 7,94	83,00 ± 8,42	83,00 ± 9,98	77,75 ± 9,58
<i>S</i>	4,99	5,29	6,27	6,02
$S_{\bar{x}}$	2,50	2,65	3,14	3,01
<i>V</i> , %	6,1	6,4	7,6	7,7
<i>P</i> , %	3,1	3,2	3,8	3,9

Примечание: \bar{x} – генеральная средняя; $\bar{x} + t_{0,5} S_{\bar{x}}$ – доверительный интервал для генеральной средней; $S_{\bar{x}}$ – стандартная ошибка; *S* – стандартное отклонение; *V* – коэффициент вариации; *P* – относительная ошибка выборочной средней.

Таблица 4

Оценка существенности разности средних по *t*-критерию

Состояние дерева	Среднее значение показателя	$t_{\text{факт}}$	$t_{\text{теор}}$
Всхожесть техническая			
Круйзер, СК (тиаметоксам, 350 г/л)	89,75 ± 6,67	0,15	2,45
Табу, ВСК (имidakлоприд, 500 г/л)	88,25 ± 6,00	0,31	2,57
Койот, КС (имidakлоприд, 600 г/л) (эталон)	90,00 ± 5,66	0,21	2,57
Энергия прорастания			
Круйзер, СК (тиаметоксам, 350 г/л)	81,25 ± 7,94	0,90	2,45
Табу, ВСК (имidakлоприд, 500 г/л)	83,00 ± 8,42	1,31	2,45
Койот, КС (имidakлоприд, 600 г/л) (эталон)	83,00 ± 9,98	1,21	2,45

Рассчитанный критерий существенности разности показал, что различия в значениях технической всхожести и энергии прорастания у семян, обработанных препаратами, и семян, обработанных водой (контроль), статистически недостоверны и лежат в пределах случайных колебаний при принятом уровне значимости ($t_{\text{факт}} < t_{\text{теор}}$).

Заключение. Существенной разницы в технической всхожести и энергии прорастания се-

мян между опытными вариантами и контролем не наблюдается. При этом отмечается положительное влияние препаратов Круйзер и Табу на всхожесть семян в первые дни, что будет способствовать их меньшей повреждаемости ризофагами. Таким образом, по результатам лабораторных испытаний можно рекомендовать препараты Круйзер, СК и Табу, ВСК для проведения испытаний в полевых условиях.

Литература

1. Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных для применения в Республике Беларусь (с дополнениями): справочное издание. Минск: РУП Белбланкавид, 2014. 628 с.
2. Круйзер, СК [Электронный ресурс] / Syngenta. Россия. Режим доступа: <https://syngenta.ru/products/crop-protection/seed-treatment/cruiser.html>. Дата доступа: 14.03.2017.
3. Табу [Электронный ресурс] / Avgust crop protection. Режим доступа: <http://avgust.com/lph/product/4612/#.html>. Дата доступа: 14.03.2017.
4. Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести: ГОСТ 13056.6-97. Введ. 01.03.1999. Минск: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1999. 8 с.
5. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований); 5-е изд., перераб. и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

References

1. Gosudarstvennyy reestr sredstv zashchity rasteniy (pestitsidov) i udobreniy, razreshennykh k primeneniyu na territorii Respubliki Belarus' [State Register of plant protection products (pesticides) and fertilizers, competent for use on the territory of the Republic of Belarus]. Minsk, RUP "Belblankavid" Publ., 2014. 627 p.
2. *Kruyzer, SK* [Kraiser]. Available at: <https://syngenta.ru/products/crop-protection/seed-treatment/cruiser.html> (accessed 14.03.2017).
3. *Tabu* [Tabu]. Available at: <http://avgust.com/lph/product/4612/#.html> (accessed 14.03.2017).
4. GOST 13056.6-97. Seeds of trees and shrubs. Methods for determination of germination. Minsk, Mezghossoviet po standartizatsii, metrologii i sertifikatsii: Belarus. gos. in-t standartizatsii i sertifikatsii Publ. 8 p. (In Russian).
5. Dospikhov B. A. *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovaniy)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1985. 351 p.

Информация об авторах

Козел Александр Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Kozel@belstu.by

Ларинина Юлия Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lesya25106@mail.ru

Хвасько Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Khvasko@belstu.by

Блинцов Александр Иванович – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Blintsov@belstu.by

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

Information about the authors

Kozel Aleksandr Vladimirovich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Kozel@belstu.by

Larinina Yuliya Aleksandrovna – PhD (Agriculture), assistant lecturer, the Department of Forest. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lesya25106@mail.ru

Khvas'ko Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Khvasko@belstu.by

Blintsov Alexander Ivanovich – PhD (Biology), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Blintsov@belstu.by

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

Поступила 15.10.2017

УДК 582.282: 630*443(476)

Д. Б. Беломесяцева¹, В. Б. Звягинцев², Т. Г. Шабашова¹, Г. А. Волченкова²¹ Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича
Национальной академии наук Беларуси² Белорусский государственный технологический университет**ИНВАЗИВНЫЙ КОМПОНЕНТ В СОСТАВЕ МИКОБИОТЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД**

В результате анализа инвазивного компонента в составе микобиоты хвойных пород на территории Беларуси установлено наличие 10 видов с различной давностью интродукции: *Gymnosporangium sabiniae* (Dicks.) G. Winter, *Gymnosporangium tremelloides* R. Hartig, *Ophiostoma polonicum* Siemaszko, *Pestalotiopsis funerea* (Desm.) Steyaert, *Phoma* complex, *Coleosporium* complex. Впервые для Беларуси идентифицирован патогенный инвазивный микромицет *Cyclaneusma minus* (Butin) DiCosmo, Peredo & Minter, вызывающий шютте хвои сосны. При проведении лабораторных исследований образцов хвои также были установлены признаки поражения следующими инвазивными видами грибов: *Dothistroma septosporum* (Dorogin) M. Morelet, *Lecanosticta acicola* (Thüm.) Syd. и *Sclerophoma* sp. Предварительный эколого-географический анализ патогенов показал, что наибольшее число потенциально опасных для хвойных пород видов относятся к бореальному и монтанному географическому элементу микобиоты.

Ключевые слова: инвазивные виды, фитопатогены, хвойные породы, микромицеты, новые для Беларуси виды.

D. B. Belomesyatseva¹, V. B. Zvyagintsev², T. G. Shabashova¹, G. A. Volchenkova²¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany
of the National Academy of Sciences of Belarus²Belarusian State Technological University**INVASIVE SPECIES IN THE MYCOBIOTA OF CONIFEROUS TREES**

As a result of analysis of invasive component in the mycobiota of coniferous plants on the territory of Belarus presence of 10 species with different prescription of introduction is revealed: *Gymnosporangium sabiniae* (Dicks.) G. Winter, *Gymnosporangium tremelloides* R. Hartig, *Ophiostoma polonicum* Siemaszko, *Pestalotiopsis funerea* (Desm.) Steyaert, *Phoma* complex, *Coleosporium* complex. For the first time in the territory of Belarus the pathogenic invasive micromycete *Cyclaneusma minus* (Butin) DiCosmo, Peredo & Minter was identified. This fungus causes the pine needles cast. The laboratory tests of needles have been made and found also the signs of the deceases caused by invasive species like *Dothistroma septosporum* (Dorogin) M. Morelet, *Lecanosticta acicola* (Thüm.) Syd. and *Sclerophoma* sp. The preliminary environment and geographical analysis of pathogens showed that the greatest number of species, potentially dangerous to coniferous plants belong to the boreal and montane geographical elements of mycobiota.

Key words: invasive species, phytopathogens, coniferous trees, micromycetes, new species for Belarus.

Введение. Инвазии вредоносных организмов (насекомых, грибов, бактерий, вирусов, нематод, сосудистых растений и даже млекопитающих), гибридизацию их с местными близкородственными видами, вытеснение местных видов, горизонтальный перенос генов, возникновение новых рас и видов патогенов можно отнести к наиболее опасным факторам современных изменений экосферы. Примеры глобальных инвазий широко известны в медицине и сельском хозяйстве, не менее разрушительны они и для лесных насаждений. Во многих регионах мира отмечается беспрецедентный рост непреднамеренной интродукции фитопатогенных организмов в естественные биогеоценозы, особенно заметный в последние десятилетия

[1–3]. Некоторые инвазии в лесных насаждениях являются не только причиной огромных экономических ущербов, но и приводят к негативным социальным и экологическим последствиям [4].

Интенсификация глобальной торговли стала одним из основных векторов непреднамеренной интродукции вредоносных организмов, особенно остро проявляющимся на фоне масштабных климатических изменений и повышения антропогенной нагрузки на природные экосистемы [5]. Лесное хозяйство Беларуси все чаще сталкивается с новыми вредоносными патологиями древесных растений, вызываемыми видами, ранее не встречающимися в республике [6]. Наметилась тенденция усиления

вредоносности некоторых видов возбудителей болезней, ранее встречавшихся единично и не причинявших хозяйственно ощутимого вреда [7, 8]. Динамика появления новых для лесов республики болезней и изменений в развитии популяций вредоносных организмов вызывает необходимость постоянного научного сопровождения лесохозяйственной деятельности с целью разработки и внедрения эффективных методов и средств защиты леса. Таким образом, целью данной работы является выявление видового состава и закономерностей развития популяций дендропатогенных организмов в условиях неореалов на территории Беларуси.

Объекты и методы исследования. Объектом исследования является инвазивный компонент в составе биотрофного и некротрофного микобиотических комплексов хвойных пород. Предмет исследования – санитарное состояние насаждений хвойных пород.

Оценка состояния хвойных пород, выявление очагов болезней проводились в рамках рекогносцировочного и детального лесопатологического обследований в соответствии с ТКП 252-2010 (02080) «Порядок проведения лесопатологического мониторинга лесного фонда» и ТКП 026-2006 (02080) «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Санитарные правила в лесах Республики Беларусь».

Сбор гербарных образцов осуществлялся в различных ботанико-географических районах Беларуси, относящихся к 7 округам и 3 геобота-

ническим подзонам. Микофлористические обследования проводились выборочными методами. В качестве выборки использовалась часть участков (выделов) или кварталов леса в соответствующих фитоценозах с различными экологическими условиями. Для того чтобы выборка была представительной, применялось сочетание случайного и систематического методов обследования и послойной выборки.

Отбор проб выполнялся в зависимости от характера поражения растений, либо равномерно по ходу трансекты, либо в случае очажного проявления болезни, предварительно выделялись очаги поражения, в пределах которых и проводились необходимые учеты.

Материал гербаризировался по стандартным методикам [9]. Диагностика проводилась по анатомо-морфологическим и культуральным признакам методом световой микроскопии. Собранные образцы грибов находятся на хранении в микологическом гербарии MSK-F ГНУ «Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича» и в научной коллекции кафедры лесозащиты и древесиноведения БГТУ.

Результаты и обсуждение. Проведенный анализ всего объема доступной информации об инвазивных организмах, развивающихся на хвойных породах (включая многолетние наблюдения авторов), позволил составить список отмеченных фитопатогенных организмов с подтвержденным или обсуждаемым инвазивным статусом (табл. 1).

Таблица 1

Список инвазивных фитопатогенных организмов в составе микобиоты хвойных пород

Вид	Год первого упоминания в Беларуси	Источник литературы
<i>Cyclaneusma minus</i> (Butin) DiCosmo, Peredo & Minter, Eur. J. For. Path. 13(4): 208 (1983)	2016	[13]
<i>Dothistroma septosporum</i> (Dorog.) M. Morelet, Bull. Soc. Sci. nat. Arch. Toulon et du Var 177: 9 (1968)	2013	[7]
<i>Gymnosporangium sabinae</i> (Dicks.) G. Winter, Pilze Deutschl. 1: 232 (1884)	2013	[7, 17]
<i>Gymnosporangium tremelloides</i> R. Hartig, Lehrb. Baumkrankh.: 55 (1882)	2002	[12]
<i>Ophiostoma polonicum</i> Siemaszko, Planta Pol. 7(3): 33 (1939)	2013	[7]
<i>Passalora juniperina</i> (Georgescu & Badea) H. Solheim, Agarica 33: 78 (2013) as syn. <i>Asperisporium juniperinum</i> (Georgescu & Badea) B. Sutton & Hodges Mycologia 82(3): 317 (1990)	2002	[12]
<i>Pestalotiopsis funerea</i> (Desm.) Steyaert, Bull. Jard. bot. État Brux. 19(3): 340 (1949)	2008	[18]
<i>Rhizosphaera kalkhoffii</i> Bubák, Ber. dt. bot. Ges. 32: 190 (1914)	2008	[19]
<i>Sphaeropsis sapinea</i> (Fr. ex. Fr.) Dyko et Sutto (инвазивный статус уточняется)	1990	[20]
<i>Stigmina deflectens</i> (P. Karst.) M. B. Ellis, Mycol. Pap. 72: 63 (1959)	2002	[12]
<i>Coleosporium complex</i> (видовой и инвазивный статус уточняется)	2008	[21]
<i>Phoma complex</i> (видовой и инвазивный статус уточняется)	2002	[12]

Примером широко известной и вредоносной инвазии является появление и массовое распространение ржавчинного гриба *Gymnosporangium sabiniae*. Вид, естественно встречающийся в Южной Европе и на Кавказе, не был отмечен на территории Беларуси до 2000-х гг. В последнее десятилетие он начал активно распространяться, поражая интродуцированные виды рода *Juniperus*, являющиеся основным хозяином, и *Pyrus communis* L. (промежуточный хозяин) в дендрариях, озеленительных посадках, плодовых садах и естественных насаждениях. Сведения о встречаемости на древесно-кустарниковых породах данного вида ржавчины приводятся для Минской, Брестской и Гродненской областей [7, 8]. Обладая явными, очень характерными признаками на обоих хозяевах, болезнь вызывает беспокойство владельцев приусадебных и коммерческих садов, опасаящихся за урожайность груши. Имеются сведения о преждевременном опадении плодов у деревьев с сильно пораженными листьями [10].

Другой вид фитопатогенного гриба, который вызывает опасения, – *Dothistroma septosporium*, является возбудителем дотистромоза, или красной пятнистости хвой. Резкое увеличение распространенности и вредоносности этой ранее малоизвестной болезни наблюдается со второй половины XX в. Поражаются растения в насаждениях, лесных культурах и молодняках хвойных пород, в питомниках и дендропарках. В настоящее время патоген достоверно зафиксирован в 44 странах, в том числе в отдельных регионах России, Украине, Литве, Латвии [11]. Первые упоминания об обнаружении *D. Septosporium* в Беларуси относятся к 2013 г., несмотря на единичную встречаемость на территории республики, обладает высоким уровнем потенциальной вредоносности [7].

При проведении лабораторных исследований образцов хвой были установлены признаки поражения инвазивными видами грибов, а также изучены их микроскопические признаки.

Passalora juniperina, впервые выявленная на территории Беларуси в 2002 г., в последнее время стала основным возбудителем шютте хвой *Juniperus communis* [12]. Обследования обнаружили широкую встречаемость спороношений патогена на погибшей хвое (рис. 1). Пораженность растений увеличивается в северных регионах республики.

Значительный интерес для лесной фитопатологии представляет дисккомицет, идентифицированный как *Cyclaneusma minus*. В 2016 г. нами зафиксирована первая находка данного вида на территории Беларуси [13]. Подтверждено развитие патогена на двух видах сосен – *Pinus mugo* и *P. sylvestris*.



Рис. 1. Споры *Passalora juniperina*

На сосне обыкновенной симптомы поражения встречаются на хвое разного возраста. Первые признаки проявляются в виде очень малых, слабо заметных зеленоватых пятен, которые сливаются, затем хвоя приобретает желтоватый оттенок, впоследствии на ней проявляются коричневатые полосы. Постепенно хвоя становится ровного коричневатого оттенка. Пораженные хвоинки опадают в течение нескольких месяцев после появления первых симптомов болезни. Чаще всего плодовые тела гриба формируются уже на опавшей хвое, но в некоторых случаях и на живой.

Аскомата апотециального типа, субэпидермальная, эллиптической формы (рис. 2). Цвет апотеция изменяется с возрастом: незрелые формирующиеся плодовые тела коричневатые, с возрастом теряют окраску и становятся белыми. Апотеции мелкие: 0,1–0,7 мм длиной и 0,20–0,25 мм шириной. При созревании апотеций раскрывается продольной щелью. Часто в месте развития апотеция отслаиваются лоскутами ткани хвой, что особенно заметно при высокой влажности. *C. minus* имеет очень характерные, сильно удлиненные аскоспоры, заостренные с концов (рис. 3).

C. minus является опасным патогеном хвойных пород, выявлен в Европе (включая Польшу, Украину и страны Прибалтики), Северной Америке, в Сибири, а в южном полушарии – в Новой Зеландии. На коммерческих плантациях сосны в США и Новой Зеландии ущерб от дефолиации, вызванной поражением *C. minus*, привел к потере ценности урожая и прироста соответственно на 26 и 50% [14, 15].



Рис. 2. Аскомы *Cyclaneusma minus* на хвое сосны обыкновенной



Рис. 3. Аскоспоры *Cyclaneusma minus*

Отслеживание изменений границ ареалов хозяйственно мало значимых сапротрофных микромицетов является достаточно сложной задачей из-за крайне небольшого объема информации об их встречаемости. Проведенный анализ комплекса сапротрофных организмов, живущих за счет мортценоза и развивающихся на опаде хвойных пород, позволил выявить ряд предположительно адвентивных видов с неясным инвазивным статусом (табл. 2).

Известно, что вредоносность и даже трофические предпочтения сапротрофных видов мо-

гут существенно меняться в пределах неоареалов. При воздействии новых условий среды и контакте с новыми видами растений имеется вероятность формирования не типичных для вида взаимоотношений. Хорошо известны разрушительные последствия интродукции в Европу из Юго-Восточной Азии гриба *Hymenoscyphus fraxineus*. Вид, развивающийся преимущественно на отмерших черешках азиатских ясеней, проявил себя на европейском ясене *Fraxinus excelsior* как агрессивный патоген, поставивший под угрозу выживание нового растения хозяина [16].

Таблица 2

Список сапротрофных организмов в составе микобиоты хвойных пород

Вид	Год первого упоминания в Беларуси	Источник литературы
<i>Cheiromoniliophora gracilis</i> R. F. Castañeda, Guarro & Cano, Mycotaxon 61: 320 (1997)	2001	[22]
<i>Conoplea juniperi</i> S. Hughes, Can. J. Bot. 36: 755 (1958)	2014	[23]
<i>Costantinella terrestris</i> (Link) S. Hughes, Can. J. Bot. 36: 758 (1958)	2014 2002	[23] [12]
<i>Dictyopolyschema pirozynskii</i> M. B. Ellis, More Dematiaceous Hyphomycetes (Kew): 374 (1976)	2015	[24]
<i>Diplococcium parvum</i> Hol.-Jech., Folia geobot. phytotax. 17(3): 315 (1982)	2015	[25]
<i>Helicoma muelleri</i> Corda, Icon. fung. (Prague) 1: 15 (1837)	2014	[23]
<i>Matsushimaea fasciculata</i> Subram., Kavaka 5: 96 (1978)	2001	[26]
<i>Monodictys lepraria</i> (Berk.) M. B. Ellis, More Dematiaceous Hyphomycetes (Kew): 44 (1976)	2004	[27]
<i>Ojibwaya perpulchra</i> B. Sutton, Mycol. Pap. 132: 83 (1973)	2001	[28]
<i>Phragmocephala elliptica</i> (Berk. & Broome) S. Hughes, N. Z. J. Bot. 17(2): 164 (1979)	2014	[23]
<i>Trimmatostroma scutellare</i> (Berk. & Broome) M. B. Ellis, More Dematiaceous Hyphomycetes (Kew): 28 (1976)	2002	[29]
<i>Veronaea carlinae</i> M. B. Ellis, More Dematiaceous Hyphomycetes (Kew): 212 (1976)	2002	[29]
<i>Xylohypha pinicola</i> D. Hawksw., Trans. Br. mycol. Soc. 64(1): 98 (1975)	2015	[25]

Следовательно, сапротрофные виды грибов могут иметь инвазивный потенциал не только за счет влияния на биологическое разнообразие местной микобиоты путем конкуренции, но и нести существенную вредоносность путем нарушения и/или изменения трофических связей.

Заключение. За прошедшие 15 лет в Беларуси было отмечено более 10 видов фитопатогенных организмов, ранее не выявленных на территории республики, в то время как на протяжении XX в. – не более 5. Очевидно, что расширение торговых связей между странами, рост интродукции древесных растений, изменение климатических условий приводят к появлению все большего числа новых вредоносных организмов, которые, приспосабливаясь к местным условиям, массово поражают в том числе и представителей аборигенной флоры.

Проведенный эколого-географический анализ патогенов показал, что наибольшее число потенциально опасных для хвойных пород видов относятся к бореальному и монтанному географическому элементу микобиоты.

Увеличение частоты инвазий несет высокие риски возникновения эпифитотий с крупными экономическими последствиями для лесного хозяйства страны. Для профилактики и оперативной ликвидации очагов инвазивных организмов в лесном фонде страны необходимо развитие следующих стратегических направлений: совершенствование нормативной базы в области защиты леса; развитие системы лесопатологического мониторинга и прогноза; широкое внедрение в практику методов молекулярно-генетической идентификации патогенных организмов; разработка и внедрение современных, экологически безопасных методов, технологий и средств локализации и ликвидации очагов вредоносных организмов; совершенствование систем подготовки кадров, повышения квалификации и стажировки специалистов по защите леса, информирования местного населения; организация непрерывной научной поддержки отрасли в вопросах мониторинга и идентификации инвазивных патогенов.

Литература

1. Jones D. R., Baker R. Introductions of non-native pathogens into Great Britain, 1970–2004 // *Plant Pathology*. 2007. Vol. 56. P. 891–910.
2. Brasier C. M. The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plant // *Plant Pathology*. 2008. Vol. 57. P. 792–808.
3. Последствия глобальной торговли и мобильности для здоровья лесов региона (ЕС). Режим доступа: <http://www.fao.org/docrep/meeting/030/mj554R.pdf>. Дата доступа: 22.03.15.
4. Biogeographic patterns and determinants of invasion by alien forest pathogenic fungi in Europe / A. Santini [et al.] // *New Phytologist*. 2013, no. 197. P. 238–250.
5. Звягинцев В. Б. Глобализация проблем лесной фитопатологии // Проблемы лесной фитопатологии и микологии: материалы 9-й Международной конференции. Минск, 2015. С. 89–90.
6. Zvyagintsev V. B., Baranov O. Yu., Melnik L. F. Pathogenic fungal diseases of branches of the ash in the drying out plantations in Belarus // *Fungi and lichens in the Baltics and Beyond: XVIII Symposium of the Baltic Mycologists and Lichenologists Lithuania*. Dubingiai. 2011. P. 21.
7. Инвазивные виды фитопатогенных организмов в Беларуси и сопредельных странах / Д. Б. Беломесяцева [и др.] // *Ботаника (исследования)*. 2013. Вып. 42. С. 87–98.
8. Поликсенова В. Д., Храмов А. К., Федорович М. Н. Чужеродные и инвазивные фитопатогенные микромицеты в естественных и искусственных фитоценозах Беларуси // *Современная микология в России*. Том 7. Материалы 4-го съезда микологов России. М.: Национальная академия микологии, 2017. С. 90–91.
9. Билай В. И. Методы экспериментальной микологии. Киев: Наукова думка, 1982. 551 с.
10. Gjørnum H. B., Gauslaa Y., Talgøand V. *Gymnosporangium sabiniae* found in Norway // *Plant Pathology*. 2008. Vol. 57, issue 2. P. 376.
11. Мусолин Д. Л., Селиховкин А. В., Булгаков Т. С. Дотистромоз хвойных в России и сопредельных странах // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы науч.-техн. конф.* Санкт-Петербург, 2016. Т. 2. С. 46–49.
12. Belomesyatseva D. B. The fungi in the consortium of common juniper in Belarus // *Mycena*. 2002. Vol. 2, no 1. P. 4–16.
13. Беломесяцева Д. Б., Шабашова Т. Г., Звягинцев В. Б. Новый для Беларуси род микромицетов *Cyclaneusma* DiCosmo, Peredo & Minter // *Ботаника (исследования)*. 2016. Вып. 45. С. 394–397.
14. *Cyclaneusma* needlecast in Scots pine Christmas tree plantations in the Lake States / M. E. Ostry [et al.] // *Recent Research on Foliage Diseases, Conference Proceedings*. Carlisle, 1990. P. 19–21.
15. Bulman L. S. Incidence and severity of *Cyclaneusma* needle-cast in fifteen *Pinus radiata* plantations in New Zealand // *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1988, no. 18, issue 1. P. 92–100.

16. Between ash dieback and emerald ash borer: two Asian invaders in Russia and future of ashes in Europe / D. L. Musolin [et al.] // *Baltic Forestry*. 2017, no. 23, issue 1. P. 316–333.
17. Храмов А. К. Материалы о разнообразии головневых и ржавчинных грибов Национального парка «Нарочанский» // *Ботаника (исследования)*. 2013. Вып. 42. С. 136–150.
18. Дишук Н. Г., Кобзарова В. С. Болезни всходов и семян хвойных пород в лесных питомниках Беларуси // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство*. 2008. Вып. 16. С. 335–337.
19. Беломесяцева Д. Б., Федоров Н. И. Возбудитель побурения хвой *Rhizosphaera kalkoffii* Vubak // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство*. 2008. Вып. 16. С. 307–310.
20. Карзянок У. І. Патагенныя мікраміцэты сеянцаў і саджанцаў хваёвых парод у гадавальніках Беларусі // *Весті НАН Беларусі. Сер. біял. навук*. 1990. № 3. С. 10–14.
21. Федоров Н. И., Беломесяцева Д. Б., Кириленкова Н. Ф. Возбудители ржавчины хвойных пород в Беларуси // *Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. трудов ИЛ НАНБ*. 2008. Вып. 68. С. 565–576.
22. Беломесяцева Д. Б. *Cheiromoniliophora gracilis* на хвое *Juniperus communis* из Беларуси // *Новости систематики низших растений*. 2001. Т. 35. С. 55–57.
23. Беломесяцева Д. Б., Шабашова Т. Г. Микромицеты в консорции ели европейской // *Ботаника (исследования)*. 2014. Вып. 43. С. 165–180.
24. Беломесяцева Д. Б., Шабашова Т. Г. Первая находка *Dictyopolyschema pirozynskii* (*Dematiaceae*) в Беларуси // *Новости систематики низших растений*. 2015. Т. 49. С. 124–126.
25. Беломесяцева Д. Б., Шабашова Т. Г. Флора Беларуси. Грибы: в 7 т. Т. 2. Анаморфные грибы. Кн. 1. Темноокрашенные гифомицеты. Минск: Беларуская навука, 2015. 162 с.
26. Мельник В. А., Беломесяцева Д. Б. *Matsushimaea fasciculate* – новый гифомицет для микобиоты Ленинградской области и Беларуси // *Микология и фитопатология*. 2001. Т. 35. Вып. 6. С. 29–31.
27. Беломесяцева Д. Б. Микобиота в консорции можжевельника в Беларуси. Минск: Право и экономика, 2004. 235 с.
28. Мельник В. А., Беломесяцева Д. Б. *Ojibwaya perpulchra* – новый гифомицет для микобиоты Беларуси // *Микология и фитопатология*. 2001. Т. 35. Вып. 1. С. 41–43.
29. Беломесяцева Д. Б. Новые для Беларуси виды митоспоровых грибов на можжевельнике обыкновенном // *Украинский ботанический журнал*. 2002. Т. 59, № 1. С. 36–42.

References

1. Jones D. R., Baker R. Introductions of non-native pathogens into Great Britain, 1970–2004. *Plant Pathology*, 2007, vol. 56, pp. 891–910.
2. Brasier C. M. The biosecurity threat to the UK and global environment from international trade in plant. *Plant Pathology*, 2008, vol. 57, pp. 792–808.
3. *Posledstviya global'noy trgovli i mobil'nosti dl'a zdorov'ya lesov regiona (ES)* [The impact of global trade and mobility on forest health in Europe]. Available at: <http://www.fao.org/docrep/meeting/030/mj554e.pdf> (accessed 22.03.15).
4. Biogeographic patterns and determinants of invasion by alien forest pathogenic fungi in Europe. A. Santini [et al]. *New Phytologist*, 2013, no. 197, pp. 238–250.
5. Zvyagintsev V. B. [Globalization of forest phytopathology problems]. *Materialy Mezhdunar. konf. («Problemy lesnoy fitopatologii i mikologii»)* [Materials of the interregional conference (“Problems of Forest Phytopathology and Mycology”)]. Minsk, 2015, pp. 89–90 (In Russian).
6. Zvyagintsev V. B., Baranov O. Yu., Melnik L. F. Pathogenic fungal diseases of branches of the ash in the drying out plantations in Belarus. *Fungi and lichens in the Baltics and Beyond: XVIII Symposium of the Baltic Mycologists and Lichenologists Lithuania*. Dubingiai, 2011. P. 21.
7. Belomesyatseva D. B., Gapienko O. S., Zvyagintsev V. B., Zhdanovich S. A. The invasive species of phytopathogenic organisms in Belarus and in the adjacent countries. *Botanika (issledovaniya)* [Botany (investigations)], 2013, vol. 42, pp. 87–98 (In Russian).
8. Poliksenova V. D., Khramtsov A. K., Fedorovich M. N. Adventitious and invasive phytopathogenic micromycetes in natural and cultivated phytocenosis of Belarus. *Materialy IV s'yezda mikologov Rossii («Sovremennaya mikologiya v Rossii»)* [Materials of the 4th Congress of Russia mycologists (“The modern mycology in Russia”)]. Moscow, 2017, pp. 90–91 (In Russian).
9. Bilay V. I. *Metody eksperimental'noy mikologii* [Methods of the Experimental Mycology]. Kiev, Navukova dumka Publ., 1982. 551 p.
10. Gjørnum H. B., Gauslaa Y., Talgøand V. *Gymnosporangium sabiniae* found in Norway. *Plant Pathology*, 2008, vol. 57, issue 2. P. 376.

11. Musolin D. L., Selikhovkin A. V., Bulgakov T. S. [Dothistroma needle blight of coniferous in Russia and nearby countries]. *Materialy nauch.-tekhn. konf. («Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye»)* [Materials of the scientific and technical conference ("Russian Forests: politics, industry, science, education")]. St. Petersburg, 2016, pp. 46–49 (In Russian).
12. Belomesyatseva D. B. The fungi in the consortium of common juniper in Belarus. *Mycena*, 2002, vol. 2, no. 1, pp. 4–16.
13. Belomesyatseva D. B., Shabashova T. G., Zvyagintsev V. B. The genus of micromycetes *Cyclaneusma* DiCosmo, Peredo & Minter, new for Belarus. *Botanika (issledovaniya)* [Botany (investigations)], 2016, vol. 45, pp. 394–397 (In Russian).
14. Ostry M. E., Nicholls T. H., Carlson J. C., Adams G. C. *Cyclaneusma* needlecast in Scots pine Christmas tree plantations in the Lake States. Proceedings of the conference "Recent Research on Foliage Diseases". Carlisle, 1990, pp. 19–21.
15. Bulman L. S. Incidence and severity of *Cyclaneusma* needle-cast in fifteen *Pinus radiata* plantations in New Zealand. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1988, no. 18, issue 1, pp. 92–100.
16. Musolin D. L., Selikhovkin A. V., Shabunin D. A., Zviagintsev V. B., Baranchikov Y. N. Between ash dieback and emerald ash borer: two Asian invaders in Russia and future of ashes in Europe. *Baltic Forestry*. 2017, no. 23, issue 1, pp. 316–333.
17. Khrantsov A. K. Materials about diversity of smut and rust fungi of the «Narochansky» national park. *Botanika (issledovaniya)* [Botany (investigations)], 2013, vol. 42, pp. 136–150 (In Russian).
18. Dishuk N. G., Kobzarova V. S. Diseases of coniferous seedlings in the forest nurseries of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 335–337 (In Russian).
19. Belomesyatseva D. B., Fedorov N. I. Causing agent of needle cast *Rhizosphaera kalkoffii* Bubak. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 307–310 (In Russian).
20. Korzenok V. I. Pathogenic micromycetes of coniferous seedlings in the forest nurseries of Belarus. *Vesti NAN Belarusi* [Bulletin of the National Academy of Science of Belarus], series of Biological sciences, 1990, issue 3, pp. 10–14.
21. Fedorov N. I., Belomesyatseva D. B., Kirilenkova N. F. Causing agents of mildew on coniferous species in Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forestry], 2008, vol. 68, pp. 565–576 (In Russian).
22. Belomesyatseva D. B. *Cheiromoniliophora gracilis* on the needles of *Juniperus communis* from Belarus. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* [News of the System of Primary Plants], 2001, vol. 35, pp. 55–57 (In Russian).
23. Belomesyatseva D. B., Shabashova T. G. Micromycetes in the consortium of *Picea abies*. *Botanika (issledovaniya)* [Botany (investigations)], 2014, vol. 43, pp. 165–180 (In Russian).
24. Belomesyatseva D. B., Shabashova T. G. The first finding of *Dictyopolyschema pirozynskii* (*Dematiaceae*) in Belarus. *Novosti sistematiki nizshikh rasteniy* [News of the System of Primary Plants], 2015, vol. 49, pp. 124–126 (In Russian).
25. Belomesyatseva D. B., Shabashova T. G. *Flora Belarusi. Griby. T. 2: Anamorfnyye griby. Kn. 1: Temnookrashennyye gifomitsety* [Flora of Belarus. Vol. 2: Anamorphic fungi. Issue 1: Darkcolored gyphomycetes]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2015. 162 p.
26. Mel'nik V. A., Belomesyatseva D. B. *Matsushimaea fasciculata* is new hyphomycetes for mycobiota of Leningrad region and Belarus. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2001, vol. 35, issue 6, pp. 29–31 (In Russian).
27. Belomesyatseva D. B. *Mikobiota v konsortsii mozhzhevel'nika v Belarusi* [Mycobiota in the juniper consortium in Belarus]. Minsk, Pravo i ekonomika Publ., 2004. 235 p.
28. Mel'nik V. A., Belomesyatseva D. B. *Ojibwaya perpulchra* is new hyphomycetes for mycobiota of Belarus. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and Phytopathology], 2001, vol. 35, issue 6, pp. 41–43 (In Russian).
29. Belomesyatseva D. B. New for Belarus species of mytosporic fungi on *Juniperis communis*. *Ukrainskiy botanicheskiy zhurnal* [Ukrainian botanical journal], 2002, vol. 59, no. 1, pp. 36–42.

Информация об авторах

Беломесяцева Дарья Борисовна – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: dasha_belom@yahoo.com

Звягинцев Вячеслав Борисович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: mycolog@tut.by

Шабашова Татьяна Гарьевна – кандидат биологических наук, заведующая лабораторией микологии. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: tiniti@inbox.ru

Волченкова Галина Александровна – ассистент кафедры ландшафтного проектирования и садово-паркового строительства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: volchenkova@belstu.by

Information about the authors

Belomesyatseva Dar'ya Borisovna – PhD (Biology), Leading Researcher. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dasha_belom@yahoo.com

Zvyagintsev Viacheslav Borisovich – PhD (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: mycolog@tut.by

Shabashova Tat'yana Gar'yevna – PhD (Biology), Head of the Laboratory. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tiniti@inbox.ru

Volchenkova Galina Aleksandrovna – senior lecturer, the Department of Landscape Architecture and Design. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: volchenkova@belstu.by

Поступила 15.11.2017

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК674.038.3

А. А. Барташевич¹, Е. В. Коробко², В. А. Билык², М. А. Барташевич²

¹Белорусский государственный технологический университет

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ УПЛОТНЕНИЯ ШПОНА И ТОНКОМЕРНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В БГТУ совместно с Институтом тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Вилейскими мебельной фабрикой и фабрикой дверей «Лоза» проводились работы по созданию оборудования для одноосного уплотнения строганого шпона толщиной до 1 мм. Но при одной паре прессующих валов создать большую упрессовку древесных пластин толщиной до 10 мм невозможно. Для этих целей разработан прокатный станок с тремя парами валов: первые две пары прессующие, третья – прессующе-калибрующая с целью обеспечения одинаковой толщины у всех прессуемых пластин партии. На разработанный станок получен патент Республики Беларусь. Применение прокатного станка для уплотнения тонкомерной древесины возможно на предприятиях по производству паркета, изделий мебели, фанеры, погонажных столярно-строительных изделий и др.

Ключевые слова: строганый шпон, тонкослойные пластины, уплотнение, прокатный станок, прессующие валы.

A. A. Bartashevich¹, E. V. Korobko², V. A. Bilyk², M. A. Bartashevich²

¹Belarusian State Technological University

²A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute
of the National Academy of Sciences of Belarus

EQUIPMENT FOR VARNISH SEALING AND THREADED WOOD

In BSTU together with the A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, the Vileika furniture factory and the “Loza” doors factory, works were carried out to create equipment for uniaxial compaction of planed veneer with a thickness of up to 1 mm. But with one pair of pressing shafts, it is impossible to create a large pressing of wood plates with a thickness of up to 10 mm. For these purposes, a rolling machine with three pairs of shafts has been designed: the first two pairs pressing the third – pressing-calibrating to ensure the same thickness for all the pressed plates of the batch. A patent of the Republic of Belarus has been received for the developed lathe. The use of a rolling mill for compacting fine wood is possible in factories producing parquet, furniture, plywood, molded carpentry and building products, etc.

Key words: sliced veneer, thin-layered plates, compaction, rolling mill, pressing shafts.

Введение. Уплотненная древесина объемного прессования находит широкое применение при изготовлении подшипников, деталей машиностроения и других изделий [1–7]. Сравнительно новым способом применения уплотненной древесины является такой, при котором уплотняется только поверхностный слой детали или изделия. В качестве данного слоя может быть лицевая поверхность из уплотненного строганого шпона в деталях мебели, межкомнатных дверей или других столярно-строительных изделий. В данном случае будет иметь место одноосное прессование. Его необходимо

вести с использованием нагрева древесины при высоком давлении прессования.

Основная часть. В БГТУ совместно с Институтом тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, Вилейскими мебельной и фабрикой дверей «Лоза» проводились работы по созданию оборудования для одноосного уплотнения строганого и лущёного шпона толщиной до 1 мм, а также тонкомерной древесины толщиной до 10 мм

В первом разработанном станке [7] предлагалось расположить нагревательные устройства внутри вращающихся прессующих валов, а

давление прессования создавать с помощью гидроцилиндров – такой вариант трудновыполнимый и на практике реализован не был.

В следующей предложенной конструкции [8] предварительный нагрев шпона и прессующих валов предусмотрено осуществлять керамическими нагревательными элементами, неподвижно закрепленными в камере предварительного нагрева шпона и снаружи валов, а давление создавать с помощью тарельчатых пружин, установленных на корпусах радиальных подшипников. Такой станок изготовлен на фабрике дверей «Лоза» и работает уже длительное время.

При одной паре прессующих валов создавать большую упрессовку шпона (более 20%) нельзя, так как может происходить его разрушение. Проходным методом невозможно уплотнить и древесину большей толщины, например 8–10 мм. Для этих целей разработан прокатный станок с тремя парами валов: первые две пары – прессующие, третья – прессующе-калибрующая с целью обеспечения одинаковой

толщины всем прессуемым пластинам партии [9]. Принципиальное устройство станка показано на рис. 1 и 2.

Прокатный станок для уплотнения древесины работает следующим образом.

Полосу тонкомерной древесины 23 укладывают на передний стол 2 станка и к ней с боков подводят направляющие линейки 4 для придания полосе симметричного положения относительно продольной оси станка. Полоса древесины проходит через камеру 5 предварительного нагрева, затем последовательно между двумя парами прессующих валов 8 и парой калибровочных валов 9. Передний стол 2 и задний стол 3 крепятся к корпусу станка 1, элементы которого соединены с помощью сварки и винтов 22. Усилие прессования валов 8 создается тарельчатыми пружинами 11 с помощью штоков 12, которые маховичками 19 перемещаются в винтовых парах. Требуемый постоянный зазор между калибровочными валами 9 устанавливается штоками 13 с помощью маховичков 19.

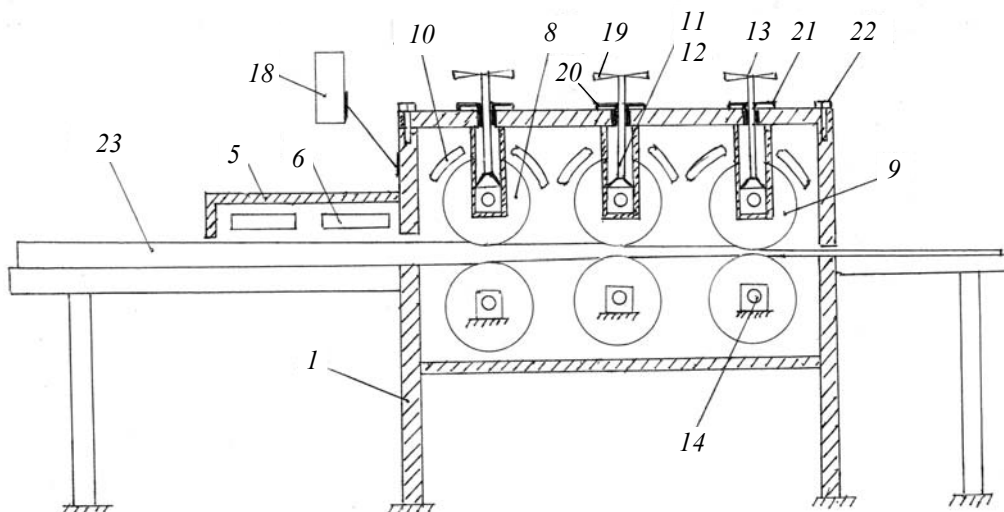


Рис. 1. Продольный разрез станка

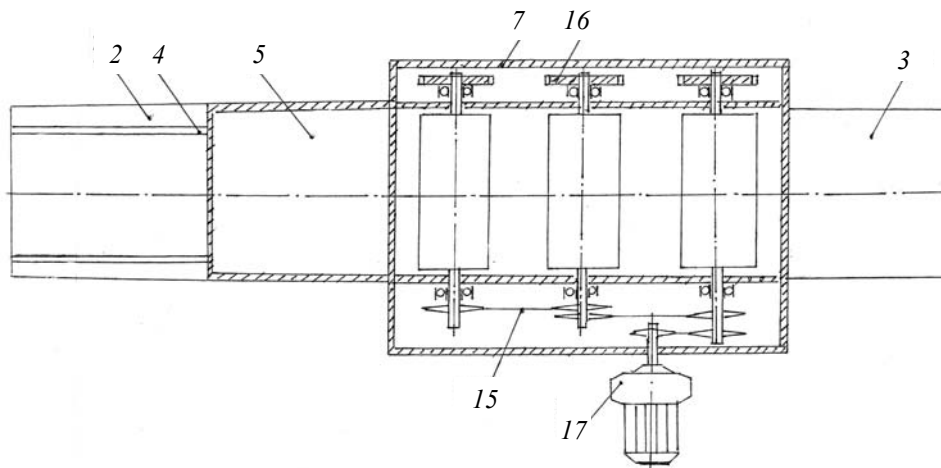


Рис. 2. Вид сверху и кинематическая схема станка

Необходимая величина давления парами валов 8 настраивается с помощью проградуированных лимбов-указателей 20, а величина зазора в паре валов 9 – с помощью проградуированных лимбов-указателей 21. Требуемая температура всех валов обеспечивается керамическими нагревательными элементами 10, закрепленными неподвижно в камере 7 над верхними валами прессующих пар 8 и калибровочной пары 9.

Усилие прессования устанавливается одинаковым для каждой пары валов. Степень упрессовки при этом от каждой последующей пары уменьшается в связи с постепенным возрастанием плотности прессуемой древесины.

Прокатные и калибровочные валы установлены на радиальных подшипниках 14. Корпуса подшипников нижних валов закреплены неподвижно, а верхних валов могут иметь небольшое вертикальное перемещение в процессе прессования древесины. Привод нижних валов осуществляется посредством цепных передач 15 с помощью мотора-редуктора с тиристорным устройством 17. Тиристорное устройство мотора-редуктора обеспечивает плавное регулирование скорости подачи. Привод верхних валов осуществляется от нижних посредством прямозубых шестерен 16. Управление станком производится с пульта 18.

Верхний вал калибровочной пары валов 9 выполнен полированным для обеспечения минимальной шероховатости уплотненной древе-

сины, а все остальные валы имеют шероховатость в пределах 40–50 мкм для создания такой же шероховатости на оборотной стороне уплотняемой древесины, что улучшит качество склеивания ее с основой.

Пример работы станка. Уплотняется полоса древесины ольхи шириной 100 мм и толщиной 4 мм. Требуемая степень уплотнения 40%. Необходимо создать давление на древесину 27 МПа. Для этого принимаем по одной тарельчатой пружине № 341 диаметром 50 мм на каждый подшипник, что обеспечит необходимое усилие сжатия величиной 5600 Н. Диаметр прессующих и калибровочных валов принимаем по 200 мм, а температуру их нагрева 100°C. При скорости подачи до 10 м/мин требуется мощность мотора-редуктора 3 кВт. В результате получим уплотненную древесину плотностью примерно 900 кг/м³ вместо 525 кг/м³, пористостью 38 вместо 60%, с шероховатостью поверхности 10 вместо 60 мкм, твердостью 120 вместо 30 МПа. Отпадает необходимость шлифования поверхности, а расход лака при отделке уменьшается на 30–35%.

Заключение. Применение прокатного станка для уплотнения тонкомерной древесины возможно на предприятиях по производству паркета, изделий мебели, фанеры, погонажно-строительных и других изделий. Станок конструктивно несложный и может быть изготовлен силами своего предприятия [10,11].

Литература

1. Барташевич А. А., Богомазов В. В. Технология изделий из древесины: учебник. Минск: Выш. шк. 1995. 196 с.
2. Барташевич А. А., Барташевич М. А., Бильк В. А. Выбор тарельчатых пружин и привода станка для уплотнения шпона // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 90–91.
3. Врублевская В. Н., Невзорова В. Б., Врублевский В. В. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. Гомель: БелГУТ, 2000. 324 с.
4. Гончаров Н. А., Башинский В. Ю., Буглай Б. М. Технология изделий из древесины: учебник М.: Лесная пром-сть, 1995. 402 с.
5. Кузьмин А. В., Чернин И. М., Козинцов Б. С. Расчеты деталей машин: справ. пособие. 3-е изд. Минск: Выш. шк., 1986. 400 с.
6. Пружины тарельчатые. Общие технические условия: ГОСТ 3057-90. Введ. 1991-07-01. М.: Изд-во стандартов, 1991.
7. Устройство для уплотнения шпона: пат. Респ. Беларусь 9663 МПК В 27 М 1/100 / А. А. Барташевич, А. М. Романовский, Н. А. Пискунов; заявитель и патентообладатель УО «Белорусский государственный технологический университет». № а 20040477; заявл. 26.05.2004; опубл. 30.12.2005 // Афіц. бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці, 2007.
8. Прокатный станок для уплотнения шпона: пат. Респ. Беларусь 19797 МПК 27 М 1/100 / А. А. Барташевич, Л. В. Игнатович, С. В. Шетько, М. А. Барташевич, А. В. Зубачев, Н. А. Пискунов; заявитель УО «Белорусский государственный технологический университет» // Афіц. бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці, 2006.
9. Станок для уплотнения полосы тонкомерной древесины: пат. Респ. Беларусь 20888 МПК В 27 М 1/02 / Е. В. Коробко, М. А. Барташевич, В. А. Бильк, А. А. Барташевич; заявитель УО «Белорусский государственный технологический университет» // Афіц. бюлетэнь / Нац. цэнтр інтэлект. уласнасці, 2008.
10. Игнатович Л. В., Утгоф С. С., Бут – Гусаим А. М. Технология многослойных паркетных изделий с лицевым слоем из уплотненной древесины мягких лиственных пород // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 114–119.

11. Игнатович Л. В. Конструктивные особенности щитового паркета сложного рисунка из шпона // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 155–158

References

1. Bartashevich A. A., Bogomazov V. V. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1995. 196 p.
2. Bartashevich A. A., Bartashevich M. A., Bilyk V. A. The choice of Belleville springs and the drive of the machine for sealing veneer. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 90–91 (In Russian).
3. Vrublevskaya V. N., Nevzorova V. B., Vrublevskiy V.V. *Iznosostoykiye samosmazyvayushchiesya antifriktsionnyye materialy i uzly treniya iz nikh* [Wear-resistant self-lubricating antifriction materials and friction units of them]. Gomel', BelGUT Publ., 2000. 324 p.
4. Goncharov N. A., Bashinskiy V. Yu., Buglay B. M. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ. 1995. 402 p.
5. Kuz'min A. V., Chernin I. M., Kozintzov B. S. *Raschety detaley mashin* [Calculations of machine parts]. Minsk, Vysh. shk. Publ., 1986. 400 p.
6. GOST 3057-90: Springs are plate-like. General specifications. Moscow, Izd-vo standartov Publ., 1991.
7. Bartashevich A. A., Romanovskiy A. M., Piskunov N. A. *Ustroystvo dlya upravleniya shpona* [Device for sealing veneer]. Patent BY, no. 9663, 2007.
8. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shet'ko S. V., Bartashevich M. A., Zubachev A. V., Piskunov N. A. *Prokatnyy stanok dlya upravleniya shpona* [Rolling machine for sealing veneer]. Patent BY, no. 19797, 2006.
9. Korobko E. V., Bartashevich M. A., Bilyk V. A., Bartashevich A. A. *Stanok dlya upravleniya polosy tonkomernoy drevesiny* [Machine for sealing the strip of fine wood]. Patent BY, no. 20888, 2008.
10. Ignatovich L. V., Utgof S. S., But-Gusaim A. M. Technology of multilayer parquet products with outer layer of compressed wood, soft, hard wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 114–119 (In Russian).
11. Ignatovich L. V. Design features of a panel Board parquet with a complicated pattern of veneer. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 155–158 (In Russian).

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

Коробко Евгения Викторовна – доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: evkorobko@gmail.com

Билык Вячеслав Алексеевич – научный сотрудник лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: snowsoft@tut.by

Барташевич Михаил Александрович – инженер-технолог 1-й категории лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: baarch_aabs@mail.ru

Information about the authors

Bartashevich Aleksandr Aleksandrovich – PhD (Engineering), Honorary Doctor, Professor, Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: baarch_aabs@mail.ru

Korobko Evgeniya Viktorovna – DSc (Engineering), Professor, Head of the Laboratory of Reophysics and Macrokinetics. A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (15, P. Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evkorobko@gmail.com

Bilyk Vyacheslav Alekseevich – researcher of the Laboratory of Reophysics and Macrokinetics. A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (15, P. Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: snowsoft@tut.by

Bartashevich Mikhail Aleksandrovich – Engineer-technologist of the first category of the Laboratory of Reophysics and Macrokinetics. A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (15, P. Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: baarch_aabs@mail.ru

Поступила 20.11.2017

УДК 674.055

А. В. Сергеевичев, В. И. Онегин

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ РАСТЯГИВАЮЩИХ УСИЛИЙ
НА РАБОТОСПОСОБНОСТЬ ШЛИФОВАЛЬНОЙ ШКУРКИ
ПРИ ОБРАБОТКЕ ДРЕВЕСИНЫ**

Шлифование занимает особое место среди других видов механической обработки древесины. Обусловлено специфическими особенностями происходящих физических явлений и особенностями инструмента. Шлифовальный инструмент не имеет сплошной режущей кромки, в большинстве случаев передние углы для абразивных зерен отрицательны, зерна имеют округленные вершины и неправильную геометрическую форму. Шлифование следует рассматривать как процесс резания-царапания поверхностного слоя древесины большим количеством абразивных зерен шлифовального инструмента.

Шлифовальная шкурка – абразивный инструмент на гибкой основе с нанесенным на нее слоем или несколькими слоями шлифовального материала, закрепленного связкой. Конструкция шлифовальной шкурки: основа, основной слой связующего, абразивные зерна, закрепляющий слой связующего, антистатическое, пылеотталкивающее покрытие.

Шлифование с использованием инструмента на эластичной основе является относительно новым, но весьма перспективным видом абразивной обработки. Оборудование для ленточного шлифования просто по конструкции и экономично в эксплуатации. Применение шлифовальных лент большой ширины дает возможность обрабатывать крупногабаритный материал, а наличие у лент эластичной основы позволяет обрабатывать криволинейные поверхности больших размеров.

Один из наиболее важных параметров шлифовальной шкурки – ее прочность на разрыв. Она главным образом зависит от прочности основы и клеевого слоя и выбирается в зависимости от растягивающих усилий, воздействию которых абразивная лента подвергается в процессе работы.

При использовании шлифовального цилиндра, шлифовального диска, виброинструмента, абразивной ленты с приводным шкивом в качестве контактной опоры и абразивной ленты с промежуточной гибкой связью целесообразно применять менее прочные шлифовальные шкурки, чем при обработке абразивной лентой с холостым шкивом в качестве контактной опоры и абразивной лентой на контактной опоре скольжения.

Ключевые слова: шлифование древесины и древесных материалов, работоспособность шлифовальной шкурки.

A. V. Sergeevichev, V. I. Onegin

Saint-Petersburg State Forest Technical University

**THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF EFFORT TO STRETCHING
ON WORKING CAPACITY OF ABRASIVE PAPER WHEN PROCESSING WOOD**

Grinding holds the specific place among other types of machining of wood caused by specific features of the occurring physical phenomena and features of the tool. The grinding tool has no continuous trimming blade, in most cases forward corners for abrasive grains are negative, and grains have the rounded tops and the irregular geometrical shape. Grinding should be considered as process of cutting scratching of the surface layer of wood a large amount of abrasive grains of the grinding tool.

Abrasive paper – the abrasive tool on a flexible basis with the layer applied on it or several layers of the grinding material fixed by a sheaf. The design of an abrasive paper consists from: bases, the main layer binding, abrasive grains, the fixing layer of a binding, antistatic coating.

Grinding with use of the tool on an elastic basis is rather new, but very perspective view of abrasive processing. The equipment for tape grinding is prime on a design and is economic on stream. Application of abrasive belts of big width gives the chance to process large-size material, and presence at tapes of an elastic basis allows to process curvilinear surfaces of the larger sizes.

One of the most important parameters of an abrasive paper is its tensile strength. Durability of an abrasive paper on a gap generally depends on durability of a basis and an adhesive coat and is chosen depending on tensile strains which the abrasive tape is exposed in the course of work.

When using the grinding cylinder, a grinding disk, the vibrotool, an abrasive tape with a drive pulley as a contact support and an abrasive tape with the intermediate flexible coupling it is expedient to apply less strong grinding skins, than when processing by an abrasive tape with a single pulley as a contact support and an abrasive tape on a contact support of sliding

Key words: grinding of wood and wood materials, working capacity of abrasive paper.

Введение. Шлифование – один из видов механической обработки древесины и древесных материалов резанием, характеризуемый перемещением с большими скоростями активных абразивных зерен, расположенных на рабочей поверхности шлифовальной шкурки и находящихся под действием нормальных и касательных сил.

Резание древесины абразивным инструментом – шлифовальной шкуркой носит массовый характер агрессии, связанный с дисперсной структурой шлифовальных шкурок.

Основное назначение процесса шлифования – подготовка поверхности к отделке путем ликвидации неровностей, дефектов предыдущей обработки [1].

Эффективность шлифования в большей степени зависит от режимов обработки, характеристики и свойств шлифовального инструмента [2–4].

Известно, что рабочими движениями называют перемещения резца и материала относительно неподвижных осей координат, необходимые и достаточные для осуществления процесса резания.

Рабочие движения, осуществляемые в шлифовальных станках, состоят из прямолинейно-поступательного и вращательного. При этом шлифовальный инструмент обычно совершает главное движение, а обрабатываемая деталь – движение подачи.

Элементарный резец шлифовальных инструментов представляет собой абразивное зерно, закрепленное при помощи связки на поверхности инструмента. Зерно-резец может осуществлять резание обрабатываемого материала любой стороной, выступающей из связки. Поэтому возможно достаточно большое количество различных сочетаний рабочего движения подачи по направлению вектора скорости подачи обрабатываемого материала и главного рабочего движения по направлению вектора скорости перемещения абразивного зерна относительно неподвижных осей координат [5–7].

Основная часть. Прочность шлифовальной шкурки зависит от следующих параметров: прочности абразивных зерен, прочности их крепления на основе, прочности связки и основы.

При работе шлифовальной шкурки решающим может оказаться любой из параметров. Прочность шлифовальной шкурки на разрыв зависит от прочности основы и клеевого слоя и выбирается в зависимости от растягивающих усилий, воздействию которых шлифовальная шкурка подвергается в процессе работы. Однако, чем прочнее шлифовальная шкурка, тем она дороже [8–10]. Для снижения затрат на шлифование желательно применять менее прочные абразивные ленты.

Величина усилий, растягивающих шлифовальную шкурку, может меняться в зависимости от используемых схем шлифования. Шлифовальная шкурка применяется в виде листов, которые натягивают на цилиндр, или в виде бесконечных абразивных лент.

В различных схемах ленточного шлифования абразивная лента выполняет одновременно две функции: осуществляет резание материала и передает рабочие усилия.

Величина натяжения абразивной ленты как гибкой связки ограничивается с одной стороны передаваемой мощностью, с другой – прочностью на разрыв. Натяжение должно быть достаточным для обеспечения работы шлифовальной ленты без проскальзывания. Излишнее натяжение может привести к разрыву ленты [11]. Максимальное натяжение абразивной ленты S в общем случае представим в виде суммы:

$$S = S_{ц} \cdot S_c \cdot S_0, \quad (1)$$

где S – максимальное натяжение шлифовальной шкурки, Н; $S_{ц}$ – натяжение от центробежных сил, Н; S_c – натяжение от сил сопротивления движению шлифовальной ленты, Н; S_0 – начальное натяжение шлифовальной шкурки, Н.

На рис. 1 представлена схема шлифования абразивной лентой на контактной опоре скольжения. В этом случае силы сопротивления движению шлифовальной шкурки складываются из касательной составляющей сил резания, силы трения тыльной стороны ленты о поверхность контактной основы и силы трения в опорах холостого шкива [12]:

$$S_c = P_t + F_o \cdot F_{ш}, \quad (2)$$

где P_t – касательная составляющая сил резания, Н; F_o – силы трения по поверхности контактной опоры, Н; $F_{ш}$ – силы трения в опорах холостого шкива, Н.

$$F_o = P_n \cdot \mu, \quad (3)$$

где P_n – нормальная составляющая сил резания, Н; μ – коэффициент трения тыльной стороны шлифовальной ленты по контактной опоре, Н.

Тогда

$$S_c = P_t + P_n \cdot \mu + F_{ш}. \quad (4)$$

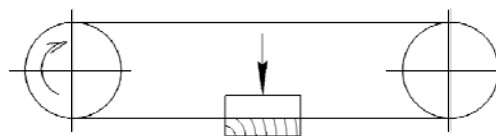


Рис. 1. Схема процесса шлифования абразивной лентой на контактной опоре скольжения

На рис. 2 представлена схема шлифования абразивной лентой, когда контактной опорой является холостой шкив. Здесь силы сопротивления движению абразивной ленты будут меньше, чем в предыдущем случае, так как отсутствует трение по поверхности контактной опоры [13].

Следовательно, и максимальное натяжение абразивной ленты будет меньше.

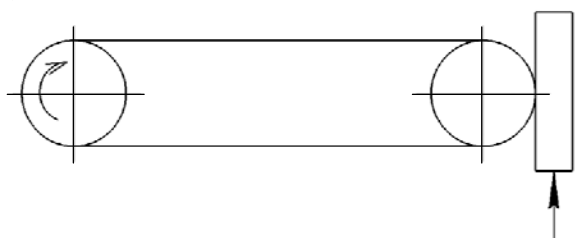


Рис. 2. Схема процесса шлифования с холостым шкивом в качестве контактной опоры

$$S_c = P_t + F_{ш}. \quad (5)$$

На рис. 3 представлены схемы процесса шлифования древесины, при которых шлифовальная шкурка подвергается наименьшим растягивающим усилиям.

Данные схемы привлекательны тем, что усилия резания во всех случаях передаются в месте контакта с обрабатываемой деталью непосредственно на приводной механизм в результате сцепления тыльной поверхности шлифовальной шкурки с поверхностью приводного механизма [14].

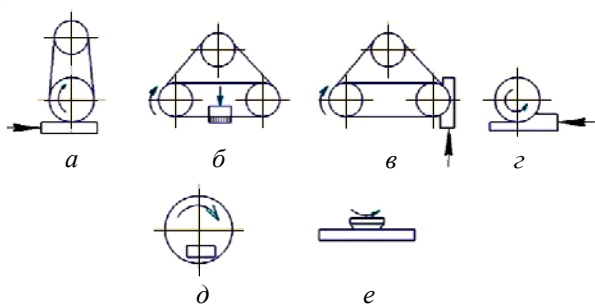


Рис. 3. Схемы процесса шлифования с наименьшими растягивающими усилиями шлифовальной шкурки:

- а – абразивной лентой с приводным шкивом в качестве контактной опоры;
- б – абразивной лентой с промежуточной гибкой связью при шлифовании на контактной опоре скольжения;
- в – абразивной лентой с промежуточной гибкой связью и холостым шкивом в качестве контактной опоры;
- г – шлифовальным цилиндром;
- д – виброшлифовальным инструментом;
- е – шлифовальным диском

Далее проанализируем натяжение шлифовальной шкурки в этих схемах. Для этого на рис. 4 схематично представим процесс резания

абразивной лентой с приводным и холостым шкивами в качестве контактной опоры.

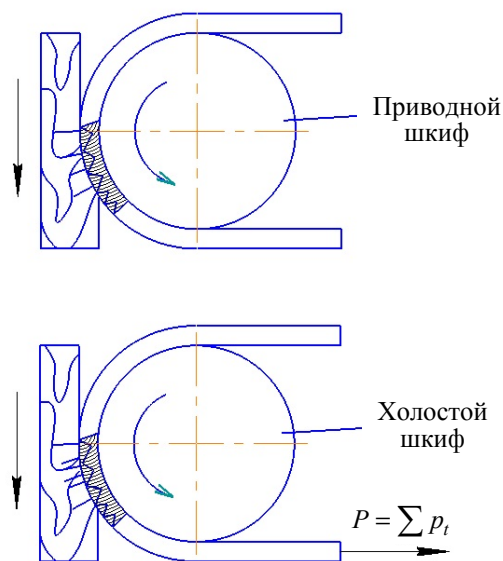


Рис. 4. Схемы процесса шлифования с приводным и холостым шкивами

При срезании стружек на каждом режущем зерне возникают элементарные касательные p_t и нормальные p_n силы резания. Касательные силы растягивают шкурку, в то время как нормальные прижимают ее к поверхности контактной опоры. При достижении сцепления тыльной стороны шлифовальной шкурки с поверхностью приводного устройства каждая элементарная касательная сила будет растягивать только тот участок шкурки, который прилегает к абразивному зерну. Наибольшее растяжение вызовет максимальная элементарная касательная сила p_{tmax} . В любом случае эта сила будет значительно меньше силы натяжения шлифовальной шкурки, так как данная сила складывается из всех элементарных касательных сил резания и полностью передается на ведущую ветвь абразивной ленты, вызывая ее натяжение [15].

При недостаточном сцеплении тыльной стороны шлифовальной шкурки с поверхностью приводного устройства натяжение ленты от сил резания увеличивается в результате проскальзывания. Однако величина натяжения становится меньше, чем в предыдущем случае (без проскальзывания).

Следовательно, силы сопротивления движению шлифовальной шкурки в худшем случае, при наличии проскальзывания (рис. 3а, б, в), будут равны

$$S_c = P_t - (P_n + T) \cdot \mu' + F_{ш}, \quad (6)$$

где T – сила прижима шлифовальной шкурки к приводному устройству в результате начального натяжения шкурки, Н; μ' – коэффициент

трения тыльной стороны шкурки по поверхности приводного устройства.

В схемах шлифования (рис. 3, *з*, *д*, *е*) силы сопротивления движения равняются

$$S_c = P_t - (P_n + T) \cdot \mu' \quad (7)$$

На основании анализа величин сил сопротивления движению шлифовальной шкурки в различных схемах шлифования (формулы (4)–(7)) можно сделать вывод, что наименьшее растяжение абразивная лента испытывает при использовании шлифовального цилиндра (рис. 3, *з*), шлифовального диска (рис. 3, *д*) и виброинструмента (рис. 3, *е*). Несколько большее растяжение – при шлифовании абразивной лентой, когда контактной опорой является приводной шкив (рис. 3, *а*), и при использовании абразив-

ной ленты с промежуточной гибкой связью (рис. 3, *б*, *в*). Второе по величине натяжение – при шлифовании абразивной лентой, когда контактной опорой является холостой шкив (рис. 2). Наибольшее натяжение наблюдается при использовании абразивной ленты на контактной опоре скольжения (рис. 1).

Заключение. При применении шлифовального цилиндра, шлифовального диска, виброинструмента, абразивной ленты с приводным шкивом в качестве контактной опоры и абразивной ленты с промежуточной гибкой связью можно использовать менее прочные шлифовальные шкурки, чем при обработке абразивной лентой с холостым шкивом в качестве контактной опоры и абразивной лентой на контактной опоре скольжения.

Литература

1. Амалицкий В. В. Оборудование отрасли: учебник. М.: МГУЛ, 2005. 584 с.
2. Сергеевичев А. В. Основные характеристики процесса шлифования древесины и древесных материалов // Известия СПбЛТА. 2014. № 206. С. 124–138.
3. Глебов И. Т. Резание древесины: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2010. 256 с.
4. Назаренко И. Г. Исследование динамики процесса шлифования древесины с позиции активных зерен. Л.: ЛТА, 1970. 56 с.
5. Артеменков А. М., Сергеевичев А. В. Определение объема межзернового пространства шлифовального инструмента при обработке древесины и древесных материалов // Известия СПбЛТА. 2017. № 218. С. 174–186.
6. Зонов Е. Г. Исследование процесса шлифования древесины. Л.: ЛТА, 1951. 25 с.
7. Кулаков Ю. М. Предотвращение дефектов при шлифовании. М.: Машиностроение, 1977. 144 с.
8. Каменев Б. Б., Сергеевичев А. В. Дереворежущие инструменты: учеб. пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 330 с.
9. Зотов Г. А. Дереворежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация. СПб.: Лань, 2010. 384 с.
10. Маслов Е. Н. Теория шлифования материалов. М.: Машиностроение, 1975. 320 с.
11. Кравчук В. И. Исследование и разработка методов повышения эффективности ленточного шлифования путем улучшения рельефа абразивного слоя: автореферат дис. ... канд. техн. наук. Киев, 1982. 20 с.
12. Попов Ю. П. Исследование работоспособности шлифовальной шкурки. М.: Машгиз, 1964. 20 с.
13. Сергеевичев А. В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов: монография. СПб.: ЛТУ, 2015. 136 с.
14. Худобин Л. В. Анализ геометрии абразивного зерна. Ульяновск, 1966. 26 с.
15. Борзенкова С. С. Исследование процесса ленточного шлифования. Л.: ЛТА, 1980. 120 с.

References

1. Amalitskiy V. V. *Oborudovaniye otrasli* [Inventory of branch]. Moscow, MGUL Publ., 2005. 584 p.
2. Sergeevichev A. V. Main characteristics of process of grind of wood and wood materials. *Izvestiya SPbLTA* [News SPbLTA], 2014, no. 206, pp. 124–138 (In Russian).
3. Glebov I. T. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 256 p.
4. Nazarenko I. G. *Issledovaniye dinamiki protsessya shlifovaniya drevesiny s pozitsii aktivnykh zeren* [Research of dynamics of process of grinding of wood from a position of the fissile grains]. Leningrad, LTU Publ., 1970. 56 p.
5. Artemenkov A. M., Sergeevichev A. V. Scoping of intergrain space of the grinding tool when processing wood and wood materials. *Izvestiya SPbLTA* [News SPbTA], 2017, no. 218, pp. 174–186 (In Russian).
6. Zonov E. G. *Issledovaniye protsessya shlifovaniya drevesiny* [Wood grinding process research]. Leningrad, LTA Publ., 1951. 25 p.
7. Kulakov Yu. M. *Predotvrashcheniye defektov pri shlifovanii* [Prevention of defects when grinding]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1977. 144 p.

8. Kamenev B. B., Sergeevichev A. V. *Derevorezhushchiye instrumenty* [Woodcutting tools]. St. Petersburg, PbGLTU Publ., 2013. 330 p.
9. Zotov G. A. *Derevorezhushchiy instrument. Konstruktsiya i ekspluatatsiya* [Woodcutting tool. Construction and operation]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 384 p.
10. Maslov E. N. *Teoriya shlifovaniya materialov* [Theory of grinding of materials]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1975. 320 p.
11. Kravchuk V. I. *Issledovaniye i razrabotka metodov povysheniya effektivnosti lentochnogo shlifovaniya putem uluchsheniya rel'efab abrazivnogo sloya. Avtoref. cand. tekhn. nauk* [Research and development of methods of increase of efficiency of tape grinding by improving of a relief of an abrasive layer]. Abstract of thesis cand. of eng. sci.]. Kiev, 1982. 20 p.
12. Popov Yu. P. *Issledovaniye rabotosposobnosti shlifoval'noy shkurki* [Research of operability of an abrasive paper]. Moscow, Mashgiz Publ., 1964. 20 p.
13. Sergeevichev A. V. *Formirovaniye poverkhnosti drevesiny i drevesnykh materialov* [Formation of a surface of wood and wood materials]. St. Petersburg, LTU Publ., 2015. 136 p.
14. Khudobin L. V. *Analiz geometrii abrazivnogo zerna* [Analysis of geometry of abrasive grain]. Ul'yanovsk, 1966. 26 p.
15. Borzenkova S. S. *Issledovaniye protsessa lentochnogo shlifovaniya* [Research of process of tape grinding]. Leningrad, LTA Publ., 1980. 120 p.

Информация об авторах

Сергеевичев Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и оборудования деревообрабатывающих производств. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет (194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., 5, Российская Федерация). E-mail: 910sav@gmail.com

Онегин Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологии и оборудования деревообрабатывающих производств. Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет (194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., 5, Российская Федерация). E-mail: onegin.ltu@mail.ru

Information about the authors

Sergeevichev Alexander Vladimirovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology and Equipment. Saint-Petersburg State Forest Technical University (5, Institutskiy per., 194021, Saint-Petersburg, Russian Federation). E-mail: 910sav@gmail.com

Onegin Vladimir Ivanovich – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Woodworking Technology and Equipment. Saint-Petersburg State Forest Technical University (5, Institutskiy per., 194021, Saint-Petersburg, Russian Federation). E-mail: onegin.ltu@mail.ru

Поступила 08.06.2017

УДК 674.048

L. V. Ignatovich, S. V. Shet'ko, A. I. Skrotskiy
Belarusian State Technological University

THE COMPLEX AND RATIONAL USE OF LEAD IS IN PRODUCTION OF JOINER-BUILDING WARES

The article suggests resource-saving method manufacturing joinery products of veneer, giving the opportunity to reduce the consumption of expensive hardwood and valuable species of wood as the surface layer laminated veneer products (plywood) to manufacture parquet products. This method allows to use as raw material-lump veneer, veneer-flaw – waste of plywood production; wood veneer from low-value wood species; wood with low density. The proposed method of manufacture plywood, particularly hardwood veneer products can solve the problem of shortage of wood. It is proposed to design and technology, joinery products, veneer (non-format veneer, veneer flaws and veneers getting from logs).

The method of manufacturing multilayer laminated articles from veneer is promising and has several advantages, which are as high consumer qualities of the products, significant reductions in labor costs and raw materials consumption. It is possible to produce parquet of the product and also wall panels, decorative elements of furniture which significantly reduces the cost and expands the scope of glued laminated products from plywood with minimum cost. Thus, the aim of this work is to expand the range of joinery products from waste products (plywood) with a high aesthetic and performance properties.

Key words: resource saving, joinery products, parquet, veneer, plywood, technology, design.

Introduction. Currently Republic of Belarus has a great importance in the problem of integrated and rational use of wood. Every year Belarus imported about 2 million m³ of commercial timber. At the same time, the total volume of waste from wood processing and logging enterprises reaches about 2.6 million m³. The resulting deficit can be covered due to more complete utilization of wood-waste, the rational use of low-grade wood, wood of soft deciduous species, increasing the lifetime of a product [1].

The usefulness of a product is determined by a complex of factors: technological, technical, environmental, social etc. Ignoring these factors in creating new types of wood products will inevitably affect the demand and marketability. Therefore, it is evident that the criterion of relevance of the importance becomes crucial for the development of woodworking, including the manufacture of joinery, in particular parquet. Before the woodworking industry seeks constant renewal and expansion of the range of wood products, including the organization of production of high quality parquet products that could successfully compete on the world market. The above said predetermines the necessity of development of new types of joinery from wood, especially parquet [2–5]. The efficacy of glued laminated veneer lumber is expected to increase significantly during the expansion of the product of range of plywood. Today, every year the Republic of Belarus increases the production of plywood by about 25% in year. In construction and furniture manufacture in general purpose in a large volume uses plywood with outer layers of veneer wood hardwood and softwood. Plywood is used for the manufacture of parts of furniture; for device formwork, equipment for vehicles, interiors, manufacturing of parquet products, etc [6].

Progress in many sectors of the economy depends on the used technology, equipment and materials that makes up the main material culture of the society. High increase in volumes of housing building entails an increase in consumption and therefore production of timber and wood products.

Currently, the main task of the woodworking industry is the rational and integrated use of forest resources. Comprehensive and rational use of wood is conducted at all manufacturing operations at its processing and includes the reduction of waste of wood processing; obtaining the maximum output of the required assortment; reduction of material consumption of wood products; use of waste generated in the manufacturing process of main products, as the main secondary process of raw materials [2–7].

Main part. The progressiveness of certain materials for the flooring is not only in production but also in the spheres of consumption and exploitation. The efficiency of interchangeable materials for the flooring should be assessed for the final product taking into account the full costs at all stages of the production and operation of coatings. Replacement of one material for another involves a change in a part or in all of the floor structure, therefore, in assessing the economic importance of different types of materials, it is necessary to compare the material with the material of the floor structure as a whole.

In connection with changes in the market of joinery, in a competitive environment before the woodworking industry seeks constant renewal and expansion of the range of wood products (laminated parquet products, items, furniture, wall panels, etc.), the organization of production of high quality joinery products that meets the needs and opportunities of all

segments of the population, and products that could successfully compete in the world market [2–7].

Developed new design and manufacturing technology of multilayer parquet products (planks, boards) with the veneer, giving the opportunity to reduce the consumption of expensive hardwood and valuable species of wood as the surface layer is laminated parquet products. The need and importance of the development of the parquet veneer products confirmed the main direction of development and modernization of wood processing enterprises.

Existing technologies of the production of multilayer parquet products have some disadvantages. The main of them is the production of strips of facing layer (6 mm thick) by the method of sawing, which reduces the useful output of strips of lumber to 20%. In addition, the bonding to the substrate relative to the narrow strips (from 20 mm to 45 mm), with some deviations in thickness, makes it difficult for uniform transmission of pressure on each bar, and in the end, the individual strips are enough firmly glued.

The article deals with the design and technology of parquet boards and boards from veneer (non-format veneer, veneer flaws and veneers with cylindering logs). Process, which is as follows [3–5]. Made from veneer, veneer flaws and from waste generated during cylindering of log, rectangular pieces of veneer, dried to a moisture content of 6%, one species of wood, the same size in length and width with adhesive, is placed on the pallet to obtain the required layer thickness [3–5].

On this layer the same way to recruit the next layer of veneer of a different wood (or different colors) to create a color (texture) differences of adjacent layers in the shield. In the same manner, the gain and subsequent layers of veneer to obtain the necessary thickness of the package is determined by the ultimate size and pattern of the parquet Board or boards.

Glued plots of veneer in a full length and width of leaves, cut into strips, along the direction of the wood fibers, width, depending on the pattern of the resulting products (e. g., 120, 145, 155, 160, 200 mm thick), characterize the magnitude of the wear layer for abrasion – 4–5 mm. Bonding the veneer in plywood can be made on the basis of modified urea-formaldehyde adhesive, which improves the physico-mechanical and performance properties of the laminated structures (veneer plywood) and products [6].

By changing the width of the strips in the set of the surface layer a wood veneer, the color and the location of the strips in the direction of the wood fibers, it is possible to obtain a wide range of figures, the surface layer of parquet boards [4, 5, 9, 10].

A layer of compacted by the method of rolled veneer (to improve physical and mechanical properties) with adhesive type in a package, taking into account the symmetry of the arrangement of the

veneer sheets against the middle of the bag, is loaded into the gaps between the plates of a press, glued on typical technological modes of bonding of plywood (waterproof plywood) [4, 5]. In Fig. 1 shows examples of the constructive schemes of multi-layered parquet boards from veneer [4]. In Fig. 1 shows examples of the constructive schemes of multi-layered parquet boards from veneer [4]. Recruited a pack of dry layers of veneer glued together into a block under pressure and sawn along the grain of the wood (sawing machines) on the plate so that the edges of the veneer was formed by plane plates. The thickness of the plate (plywood plate) is determined by the thickness of the plate (for example, 16 mm plus an allowance for processing). The resulting plate is cut out on the elements of the shield required configuration, for example, as shown in Fig. 1, rectangular, hexagonal parquet panels. Varying the number of layers, their thickness, species or color of wood, and geometric configuration of elements when connected in the shield, can be difficult to obtain different patterns of the parquet board veneer.

In Fig. 2 shows examples of structural diagrams of multilayer parquet boards veneer [5]. Glued sheets of plywood (plywood) with the front layer of veneer (compacted veneer) glued to the rib in the direction of the fibers 1, cut across the grain of the face layer, the cutting line shown by the dotted line 2. Received, therefore, strips (plates) should be treated on the perimeter, with the aim of obtaining the necessary profile for connecting planks to parquet flooring. The front layer has the pattern of the parquet planks. The middle layer 2 can consist of several layers, the lower layer has a thickness equal to the thickness of the face layer, and is identical to the direction of the fibers. Strips of veneer can have a different color or texture of wood. Received, therefore, strips (plates) should be treated on the perimeter, with the aim of obtaining the necessary profile for connecting planks to parquet flooring. The front layer has the pattern of the parquet planks. The middle layer 2 can consist of several layers, the lower layer has a thickness equal to the thickness of the face layer, and is identical to the direction of the fibers. Strips of veneer can have a different color or texture of wood.

It is known that the front coating of parquet products meet high requirements in respect of strength, hardness, wear resistance and decorative properties. Such a effective method, as seal face layer of veneer allows you to get these qualities and low value of wood of soft deciduous species (alder, birch). Densified wood has higher physical-mechanical properties than natural, while in the process of sealing do not apply chemical compositions, and the improvement of properties takes place only under high temperatures and pressure [11–15].

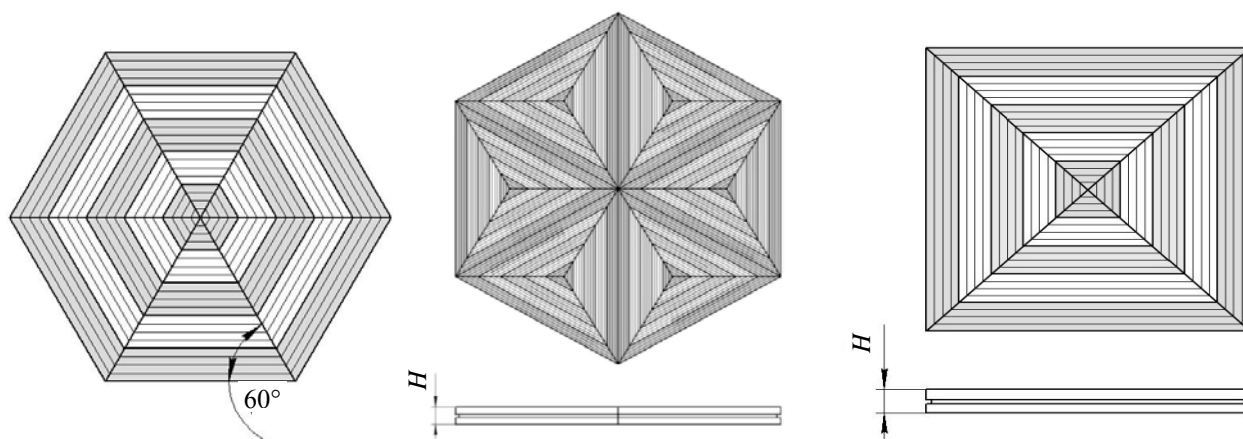


Fig. 1. The schema of the parquet panels of veneer

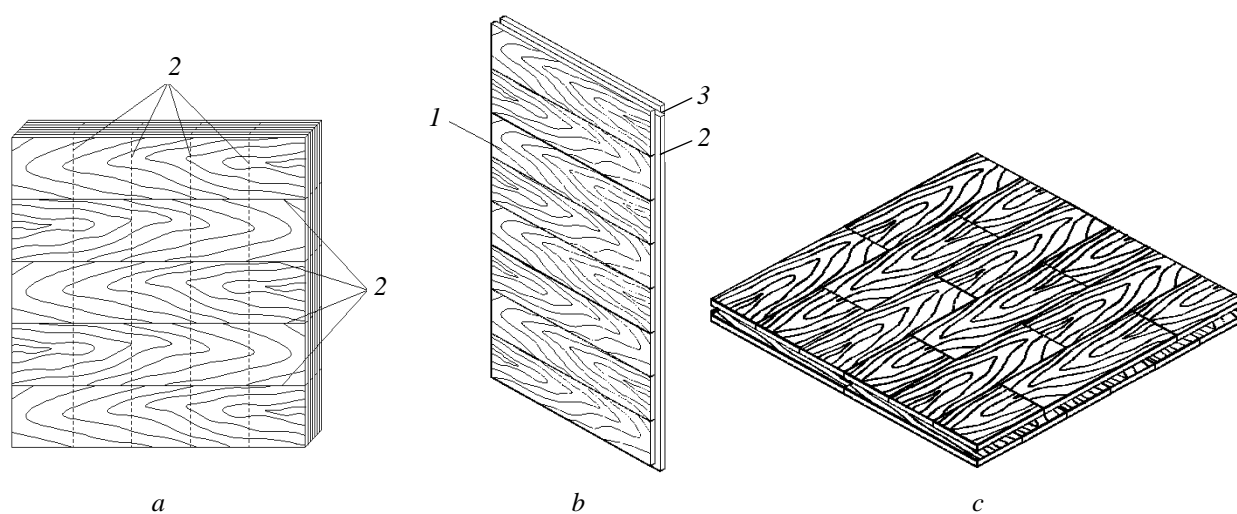


Fig. 2. Structural diagram of multi-layered parquet boards from veneer, plywood plate with outer layer in strips:

- a* – scheme of production of multilayer parquet boards from veneer
(*1* – the direction of the grain of the wood; *2* – dotted line diagram of the cutting plate to plate);
- b* – scheme of floorboard veneer with the transverse strips of the surface layer
(*1* – the front layer of compacted veneer; *2*, *3* – middle and lower layers of low-grade veneer, respectively);
- c* – a fragment of parquet flooring with a pattern randomly

Conclusion. The proposed designs and the technology of multilayer parquet products veneers can be an alternative to the widespread lately, laminated parquet coatings on the basis of fibreboard of dry method of production of high density. A significant drawback, which can be considered a short lifetime (about 5–10 years).

The proposed method of production multilayer parquet veneer is promising and has several advantages, which are as high consumer qualities of the products, significant reductions in labor costs and raw materials consumption. Of plywood with a

minimum cost possible to produce parquet of the product, which significantly reduces the cost and expands the scope of glued laminated products. The results of the tests proved that in order to achieve practical results in improving the qualitative indicators of the products of plywood production in the adhesive composition based on urea-formaldehyde resins it is recommended to add a modifier – natural silicat, improving operational performance of products [6]. Natural silicat is an active modifier and greatly improves the performance of the properties of laminated products.

References

1. Forest resources [Electronic resource]. Available at: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html>. (accessed 23.06.2014).
2. Ignatovich L. V., Shet'ko S. V., Dubovskaya L. Yu. Design direction of modern parquet flooring. Proceedings of BSTU, 2007. Vol. XV. Ser. II, Forestry and Woodworking Industry. P. 158–161.

3. Ignatovich L. V. Design features of a panel Board parquet with a complicated pattern of veneer. Proceedings of BSTU. 2011, no. 2: Forestry and Woodworking Industry. P. 155–158.
4. Nevdakh M. O., Ignatovich L. V., Lezhan S. V. Method of manufacturing a parquet Board veneer. Patent BY a useful model, no. 11601P, 2006.
5. Ignatovich L. V., Shishov A. V., Shet'ko S. V. Method of manufacturing a multi-layered parquet boards from veneer. Patent BY a useful model, no. 15158R, 2011.
6. Ignatovich L. V., Shpak S. I., Skrotski A. I. [The export-oriented plywood production in construction with improved operating characteristics. Materials of international Scientific-technical conference ("Latest achievements in the field of innovative development in the chemical industry and production of construction materials")]. Minsk, BSTU Publ., 2015. P. 421–424.
7. Ignatovich L. V., Uthoff S. S. Structural and technological features of three-layer parquet Board. Architecture and building science. No. 2–3. P. 49–51.
8. Ignatovich L. V. A method for the manufacture of parquet products of veneer with a predetermined pattern, the surface layer. Proceedings of BSTU. 2015, no. 2: Forestry and Woodworking Industry. P. 94–100.
9. Ignatovich L. V., Shishov A. V. [Application of mathematical modeling to predict the complex patterns on the surface of a laminated veneer decorative elements of furniture and joinery]. III International Eurasian Symposium ("Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century"). 2008. P. 230–235.
10. Ignatovich L. V., Bartashevich A. A., Shishov A. V. Decorative elements of furniture from peeled veneer with natural wood. Woodworking Industry. 2010, no. 1. P. 5–7.
11. Gong M., Lamason C. Improvement of Surface Properties of Low Density Wood: Mechanical Modification with Heat Treatment. University of New Brunswick, 2007. 111 p.
12. Lamason C. Optimization of pressing parameters for mechanically surface-densified aspen. Forest Products Journal, 2007. No. 57. P. 64–68.
13. Wang J., Cooper P. Effect of grain orientation and surface wetting on vertical density profiles of thermally compressed fir and spruce. HolzalsRoh und Werkstoff, 2005. No. 63. P. 397–402.
14. Ignatovich L. V., Uthoff S. S., But-Husaim A. M. Technology of multilayer parquet products with outer layer of compressed wood, soft, hardwood. Proceedings of BSTU. 2013, no. 2: Forestry and Woodworking Industry. P. 114–119.
15. Korobko E. V., Bartashevich A. A., Bilyk V. A., Ignatovich L. V., Uthoff S. S., Shet'ko S. V. Physico-chemical and mechanical aspects of sealing wood. Preprint. The national Academy of Sciences of Belarus. Institute of heat and mass transfer named after A. V. Lykov, 2014, BSTU. 51 p.

Information about the authors

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com

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

Skrotskiy Aleksey Igorevich – Master of Engineering, assistant lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: skrocki-a@belstu.by

Received 17.11.2017

УДК 674. 048

А. Ю. Антоник, О. К. Леонович

Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕРМОМОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В работе исследуется влияние процесса термомодификации на свойства древесины для четырех пород дерева (сосна, лиственница, дуб и ясень). Исследования образцов с помощью электронного микроскопа показали значительные изменения в структуре древесины. Проведен анализ основных физико-механических свойств термомодифицированной древесины. В ходе его обнаружено, что предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон для образцов всех пород уменьшился на 20,3–32,3%, но данные значения находятся в пределах нормативных ограничений. Также установлено, что влажность и влагопоглощение термомодифицированной древесины находятся в пределах нормативных ограничений. Методом газо-жидкостной хроматографии проведен анализ выбросов в атмосферу химически несвязанных веществ и выделяющихся в результате термообработки древесины. Установлено, что при термообработке и хранении выделяется вещество 2-го класса опасности – псевдокумол.

Ключевые слова: термомодифицированная древесина, физико-механические свойства, прочность, псевдокумол.

A. Yu. Antonik, O. K. Leonovich

Belarusian State Technological University

DEVELOPMENTS OF THERMALLY MODIFIED WOOD

The influence of the thermomodification process on the properties of wood for four types of wood (pine, larch, oak and ash) is investigated. The study of samples using an electron microscope showed significant changes in the structure of the wood. The analysis of the basic physical and mechanical properties of thermally modified wood has been carried out. The analysis showed that the tensile strength of the wood during compression along the fibers for samples of all rocks decreased by 20.3–32.3%, but these values are within the limits of regulatory constraints. It has also been established that the humidity and moisture absorption of thermally modified wood are within the limits of regulatory restrictions. The gas-liquid chromatography method was used to analyze the emissions of chemically unbound substances into the atmosphere and the resulting wood heat treatment. It has been established that during heat treatment and storage, a substance of hazard class 2 is released – pseudocumene.

Key words: thermally modified wood, physical and mechanical properties, strength, pseudocumene.

Введение. Во всем мире тенденции развития новых технологий в области строительных материалов, в частности древесины, примерно схожи. Создание такого материала, как термомодифицированная древесина является одним из передовых направлений в технологии переработки древесины [1].

Термическое модифицирование древесины позволяет повысить покупательскую привлекательность пиломатериала благодаря повышению формоустойчивости и биостойкости, снижению гигроскопичности, а также улучшению декоративных качеств недорогих пород.

Сегодня повышенный интерес производителей к термомодифицированной древесине обусловлен тем, что термическое модифицирование придает ей свойства, которые невозможно получить при традиционной сушке. Термомодифицированная древесина практически не впитывает воду, вследствие чего изделия из нее могут сохранять свою форму при изменении влажности, устойчива к гниению без дополнительной обработки защитными средствами,

приобретает в ходе обработки новые цветовые решения по всей глубине. Поэтому исследование физико-механических свойств такой древесины является актуальным вопросом, требующим решения.

В различных литературных источниках большое внимание уделяется исследованиям структуры древесины, ее физико-механическим характеристикам, биостойкости, которые являются важными показателями при ее эксплуатации [2–5].

Основная часть. Термомодификация древесины представляет собой специальную технологию ее термической обработки. Древесина в специальной установке проходит сушку в течение 12 сут. до влажности 4–6%. Затем установка под компьютерным управлением переходит в режим термомодификации древесины. Древесина нагревается до 180°C в результате чего сгорают сахар и углеводы, разрушается лигнин. При этом происходит уплотнение древесины, умирают споры грибов, закупориваются клетки древесины [6–9].

Для определения структурных изменений термомодифицированной древесины сосны был использован сканирующий электронный микроскоп JSM-5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2201JEOL. Для испытания применялись образцы размером 10×10×10 мм. Пучок электронов (электронный зонд) взаимодействует с приповерхностным участком образца глубиной менее нескольких микрон. В результате взаимодействия появляются многочисленные сигналы, которые можно обнаружить с помощью разнообразных детекторов для получения информации об образце.

Методом сканирующей электронной микроскопии были выявлены следующие изменения в структуре древесины, являющиеся результатом термомодифицирования:

- стенки ранних трахеид уменьшились в 2 раза;
- на тангенциальном срезе выявлено расплавление стенок окаймленных пор;
- около сердцевинного луча уменьшились мелкие окаймленные поры.

Сравнительный анализ структуры древесины сосны до и после термомодифицирования представлен на рис. 1–6. Очевидно, что такие

изменения в структуре термомодифицированной древесины в значительной степени повлияли на ее физико-механические свойства, влагостойкость и влагопоглощение.

Древесина является гигроскопичным материалом. Ее влагосодержание находится в пределах 10% при температуре 20°C и относительной влажности 65%. Влажность термомодифицированной древесины в течение года испытаний составила около 5% при постоянных температуре и давлении, что можно объяснить уменьшением толщины клеточных стенок и изменением структуры окаймленных пор.

Термомодифицированная древесина при хранении имеет специфический запах, поэтому был проведен анализ выбросов в атмосферу химически несвязанных веществ и выделяющихся в результате термообработки. Пробы отбирали проботборным шприцем в стеклянные сосуды. Состав их определялся методом газожидкостной хроматографии с помощью хроматографа «Цвет – 800». Диапазон измерений по МВИ: 10 мг/м – 5000 г/м. Перечень органических соединений, которые возможно определить в газовых пробах по МВИ МН 1820-2002, включает 29 веществ.

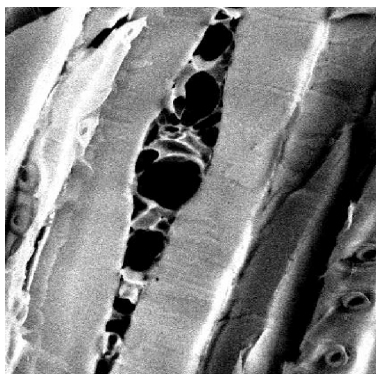


Рис. 1. Сердцевинный луч с горизонтальным смоляным ходом и окаймленные поры древесины сосны на тангенциальном разрезе

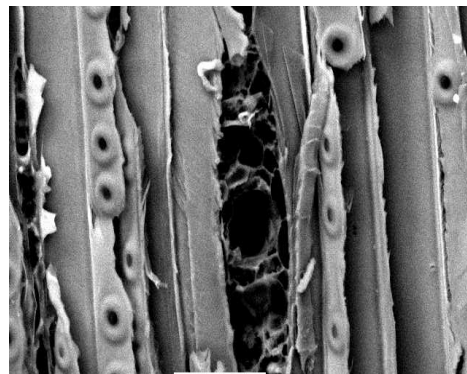


Рис. 2. Сердцевинный луч с горизонтальным смоляным ходом и окаймленные поры термомодифицированной древесины сосны на тангенциальном разрезе

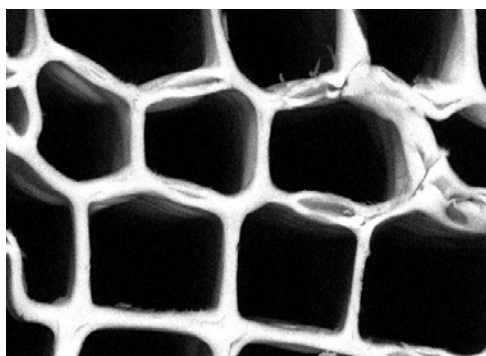


Рис. 3. Ранние трахеиды древесины сосны на поперечном разрезе

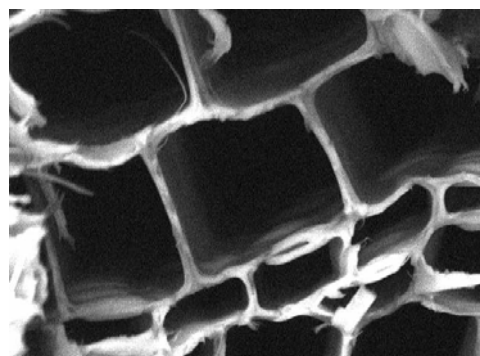


Рис. 4. Ранние трахеиды и клетки сердцевинного луча термомодифицированной древесины сосны на поперечном разрезе

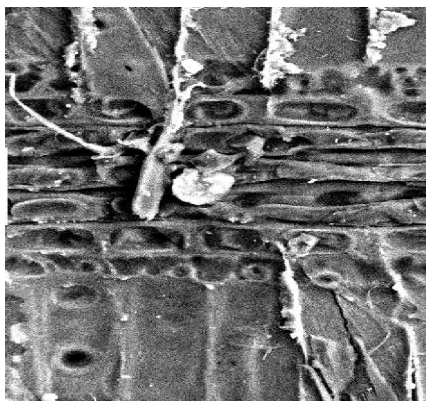


Рис. 5. Сердцевинный луч и мелкие окаймленные поры древесины сосны на радиальном разрезе

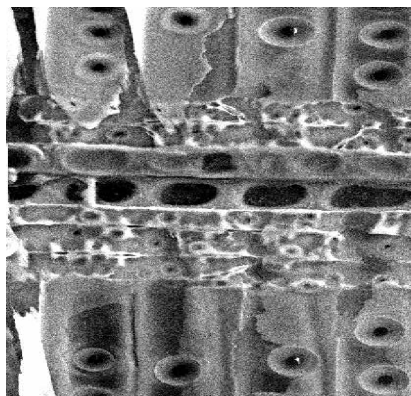


Рис. 6. Сердцевинный луч и мелкие окаймленные поры термомодифицированной древесины сосны на радиальном разрезе

С помощью хроматографирования было установлено, что запах вызван веществом – псевдокумол. Псевдокумол – вещество 2-го класса опасности, наличие которого не позволяет использовать термообработанную древесину для отделки внутренних помещений. Данный факт требует дальнейших исследований, направленных на возможность удаления этого вещества из термомодифицированной древесины и исключение возможности его выделения в окружающую среду [10].

Особый интерес представляют также биологические свойства термомодифицированной древесины [1, 5, 11, 12]. Согласно данным источника [1], а также испытаниям по ГОСТ [13–15], у термомодифицированной древесины сосны, подвергшейся испытаниям на дереворазрушающие культуры грибов, процент потери массы составил 1,9%, а у обычной древесины сосны – 60,3%.

Также в работе исследована прочность при сжатии вдоль волокон пиломатериалов хвойных (сосна, лиственница) и лиственных пород (дуб и ясень) после термического модифицирования. Цель исследования – установление влияния термомодифицирования на прочность, а также правомерность расчета конструкций из таких материалов по нормативным и временным сопротивлениям при сжатии вдоль волокон для каждой из пород в соответствии с требованиями ТКП 45-5.05-146-2009.

Образцы подвергались термической обработке при температуре 160–230°C в течение 12–18 ч, а затем испытывались на сжатие в соответствии с требованиями ГОСТ 16483.10-73.

Исследования показали, что предел прочности при сжатии вдоль волокон образцов термомодифицированной древесины сосны на 32,3% ниже среднестатистических показателей необработанной древесины и имеет фактиче-

ское значение предела прочности 31,12 МПа. Однако данное значение находится в пределах нормативных ограничений для древесины сосны по ТКП 45-5.05-146-2009.

Предел прочности при сжатии вдоль волокон термомодифицированных образцов древесины лиственницы на 23,0% ниже среднестатистических показателей для необработанной древесины. Минимальное значение предела прочности исследованных образцов составило 33,49 МПа, а среднее значение – 47,72 МПа. Данные значения находятся в пределах расчетных ограничений по 1–3-му сорту по ТКП 45-5.05-146-2009.

Предел прочности образцов древесины дуба при сжатии вдоль волокон на 20,3% ниже среднестатистических показателей для необработанной древесины. Минимальное значение для исследованных образцов составило 36,69 МПа, а среднее значение – 45,41 МПа. Данные значения находятся в пределах нормативных ограничений по 1–3-му сорту (ТКП 45-5.05-146-2009).

Предел прочности образцов древесины ясеня при сжатии вдоль волокон на 21,0% ниже среднестатистических показателей для необработанной древесины. Минимальное значение для исследованных образцов составило 38,20 МПа, а среднее значение – 44,24 МПа. Данные значения находятся в пределах нормативных ограничений по 1–3-му сорту по ТКП 45-5.05-146-2009.

Данные исследования хорошо согласуются с исследованиями других авторов для других пород деревьев [6–8].

Влажность термомодифицированной древесины определялась по ГОСТ 16483.7-71 и ГОСТ 21523.4-77, ГОСТ 21523.6-77. Образцы древесины сосны имеют фактическое значение влажности 3,8%, лиственницы – 2,3%, дуба – 2,5% и ясеня – 2,4% и находятся в пределах нормативных ограничений (8%).

Также было определено влагопоглощение термомодифицированной древесины по ГОСТ 21523.6-77. Установлено, что фактическое водопоглощение термомодифицированной древесины сосны составило за 24 ч 1,7%, лиственницы – 1,6, дуба – 1,8, ясеня – 1,9%, что находится в пределах нормативных ограничений (2%).

Заключение. В работе исследовано влияние процесса термомодификации на свойства древесины для четырех пород дерева (сосна, лиственница, дуб и ясень). Исследование образцов с помощью электронного микроскопа показали значительные изменения в структуре древесины. Стенки ранних трахеид уменьшились в 2 раза, на тангенциальном срезе выявлено расплавление стенок окаймленных пор, около сердцевинного луча уменьшились мелкие окаймленные поры. Данные структурные изменения

вызвали изменение физико-механических свойств термомодифицированной древесины. Анализ показал, что предел прочности древесины при сжатии вдоль волокон для образцов всех пород уменьшился на 20,3–32,3%, но данные значения находятся в пределах нормативных ограничений. Установлено, что влажность и влагопоглощение термомодифицированной древесины находятся в пределах нормативных ограничений. Методом газо-жидкостной хроматографии проведен анализ выбросов в атмосферу химически несвязанных веществ и выделяющихся в результате термообработки древесины. Установлено, что при термообработке и хранении выделяется вещество 2-го класса опасности – псевдокумол. Данный факт требует дальнейших исследований, целью которых является разработка технологии, позволяющей нейтрализовать выделение данного вещества.

Литература

1. Sandberg D., Kutnar A. Thermally modified timber: recent developments in Europe and north America // *Wood and Fiber Science*, 2016, no. 48(1), pp. 1–12.
2. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.
3. Горшин С. Н. Консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1977. 355 с.
4. Пауль Э. Э., Звягинцев В. Б. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.
5. Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (химия, ультраструктура, реакция): пер. с англ. / под ред. А. А. Леоновича. М.: Лесная пром-сть, 1988. 512 с.
6. Boonstra J. M., Acker V. J., Tjeerdsma F. B., Kegel V. E. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents // *Ann. For. Sci.* (2007), no. 64, pp. 679–690.
7. Esteves B., Pereira H. Wood modification by heat treatment: A review // *BioRes* 2009, no. 4(1), pp. 370–404.
8. Сафин Р. Р., Сафин А. В., Шаяхметова А. Х. Исследование физико-механических свойств термомодифицированной древесины березы // *Вестник технологического университета*. 2015. Т. 18, № 4.
9. Антоник А. Ю., Леонович О. К. Структурные изменения древесины сосны при термомодифицировании // 81-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием): сб. науч. работ, Минск, 1–12 февраля 2017/ Белорусский государственный технологический университет, Минск, 2017 [Электронный ресурс] / URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html>. Дата доступа: 12.09.2017.
10. Антоник А. Ю. Эколого-химические свойства термомодифицированной древесины сосны // 68-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов: сб. науч. работ, Минск. 17–22 апреля 2017/ Белорусский государственный технологический университет. – Минск 2017 – [Электронный ресурс] / URL: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/68-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-uchaschihsya-studentov-i-magistrantov.html>. Дата доступа: 12.09.2017.
11. Леонович О. К., Антоник А. Ю. Определение преобладающих культур дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов и их воздействие на древесину // *Труды БГТУ*. 2017, № 2: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобн. ресурсов. С. 299–304.
12. Леонович О. К., Антоник А. Ю. Биологическая устойчивость термомодифицированной древесины // 81-я научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием): сб. науч. работ, Минск, 1–12 февраля 2017/ Белорусский государственный технологический университет. Минск, 2017 [Электронный ре-

супс]/ URL: https://www.belstu.by/science/obschaya_informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html. Дата доступа: 12.09.2017.

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. Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности: ГОСТ 16712-95. Введ. 01.01.97. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1996. 12 с.

15. Средства защитные для древесины. Метод определения предела воздействия на дереворазрушающие грибы класса базидиомицетов: ГОСТ 28184-89. Введ. 01.07.90. М.: Межгос. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 1989. 13 с.

References

1. Sandberg D., Kutnar A. Thermally modified timber: recent developments in Europe and north America. *Wood and Fiber Science*, 2016, no. 48 (1), pp. 1–12.

2. Sergovsky P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal processing and preservation of wood]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1987. 360 p.

3. Gorshin S. N. *Konservirovaniye drevesiny* [Preservation of wood]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1977. 355 p.

4. Paul' E. E., Zvyagintsev V. B. *Drevesinovedeniye s osnovamy lesnogo tovarovedeniya* [Wood Science with the Basics of Forest Goods Science]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 315 p.

5. Fengel D., Wegener G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsiya)* [Wood (chemistry, ultrastructure, reaction)]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1988. 512 p.

6. Boonstra J. M., Acker, V. J., Tjeerdma F. B., Kegel V. E. Strength properties of thermally modified softwoods and its relation to polymeric structural wood constituents. *Ann. For. Sci.* 2007, no. 64, pp. 679–690.

7. Esteves B., Pereira H. Wood modification by heat treatment: A review. *BioRes*, 2009, no. 4 (1), pp. 370–404.

8. Safin R. R., Safin A. V., Shayakhmetova A. Kh. Investigation of the physical and mechanical properties of thermomodified birch wood. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Technological University], 2015, vol. 18, no. 4.

9. Antonik A. Yu., Leonovich O. K. [Structural changes in pine wood during thermomodification]. *81-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)* [81st scientific and technical conference of faculty, researchers and graduate students (with international participation)], Minsk, 2017 [Electronic resource]. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html> (accessed 12.09.2017).

10. Antonik A. Yu. [Ecological and chemical properties of thermomodified pine wood] *68-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya uchashchikhsya, studentov i magistrantov* [68th scientific and technical conference of students, students and undergraduates], Minsk, 2017 [Electronic resource]. Available at: <https://www.belstu.by/science/obschaya-informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/68-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya-uchashchihhsya-studentov-i-magistrantov.html> (accessed 09/12/2017).

11. Leonovich O. K., Antonik A. Yu. Definition of the prevailing cultures of wood-destroying and wood-staining mushrooms, and their effect on wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Forestry. Nature management. Processing of renewable resources, pp. 299–304 (In Russian).

12. Leonovich O. K., Antonik A. Yu. [Biological stability of thermomodified wood] *81-ya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem)* [81st scientific and technical conference of faculty, researchers and graduate students (with international participation)]. Minsk, 2017, [Electronic resource]. Available at: https://www.belstu.by/science/obschaya_informaciya/conferencesandexhibitions/2017-god/81-ya-nauchno-tehnicheskaya-konferenciya.html (accessed 12/09/2017).

13. GOST 30028.4-2006. Means protective for wood. Express method for assessing the effectiveness against woodblocking and mold fungi. Moscow, Mezghos. совет по standartizatsii, metrologii i sertifikatsii iPubl., 2006. 6 p. (In Russian).

14. GOST 16712-95. Means protective for wood. Method of toxicity testing, Mosvow, Mezghos. совет по standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 1996. 12 p. (In Russian).

15. GOST 28184-89. Means protective for wood. Method for determining the limit of exposure to wood-destroying fungi of the basidiomycete class. Mosvow, Mezghos. совет по standartizatsii, metrologii i sertifikatsii Publ., 1989. 13 p. (In Russian).

Информация об авторах

Антоник Альбина Юрьевна – магистрант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonik.alya@mail.ru

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 authors

Antonik Al'bina Yur'yevna – Master's degree student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonik.alya@mail.ru

Leonovich Oleg Konstantinovich – PhD (Engineering), Assistant, Professor, the Department of Woodworking Technology, Head of the Research Accredited Laboratory of Building Designs and Materials. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: OKL2001@mail.ru

Поступила 19.10.2017

УДК 667.661.92:692.8

А. С. Чуйков, С. А. Прохорчик

Белорусский государственный технологический университет

**РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ МОДУЛЯ
ТЕРМОРАДИАЦИОННОЙ КАМЕРЫ ДЛЯ СУШКИ
ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ**

Материал статьи посвящен созданию модуля терморadiационной сушильной камеры. Авторами были проведены исследования по установлению размеров теплового пятна, создаваемого инфракрасным излучателем на расстоянии 500 и 1000 мм до нагреваемой поверхности, измерению максимальной и средней температур на поверхности образца. Полученные результаты были использованы при проектировании модуля терморadiационной сушильной камеры. Проведенные ранее исследования позволили разработать технологические режимы сушки водно-дисперсионных акриловых и полиуретановых лакокрасочных материалов. Сравнение режимных параметров конвективной и терморadiационной сушек выявило, что применение инфракрасного нагрева позволяет значительно ускорить процесс отверждения лакокрасочных материалов. На основании разработанных технологических режимов была предложена схема автоматизации процесса сушки и внедрена в модуль терморadiационной сушильной камеры. Для исследования разработанных технологических режимов в производственных условиях были подготовлены оконные блоки из древесины хвойных и лиственных пород. В качестве лакокрасочного материала использовалась белая водно-дисперсионная акриловая краска фирмы Remmers. В процессе исследования была проведена тепловизионная съемка поверхности оконного блока и измерена температура в разных точках образца. По результатам исследования сделаны соответствующие выводы.

Ключевые слова: терморadiационное отверждение, сушильная камера, тепловизионное исследование, режимы сушки, лакокрасочный материал.

A. S. Chuykov, S. A. Prokhorchik

Belarusian State Technological University

**DEVELOPMENT OF THE CONSTRUCTION OF THE MODULE
OF THERMORADIATION CHAMBER FOR DRYING PAINT-RELATED COATINGS
OF JOINT-STOCK PRODUCTS**

The article is devoted to the creation of a thermoradiation drying chamber module. The authors conducted studies on the establishment of the dimensions of the thermal spot created by the infrared emitter at a distance of 500 and 1000 mm to the heated surface, measuring the maximum and average temperature on the sample surface. The obtained results were used in the design of the thermoradiation drying chamber module. Previous studies have made it possible to develop technological regimes for drying water-dispersed acrylic and polyurethane paint and varnish materials. Comparison of the regime parameters of convective and thermoradiation drying revealed that the use of infrared heating makes it possible to significantly accelerate the process of curing paint and varnish materials. Based on the developed technological regimes, a scheme for automation of the drying process was proposed and introduced into the module of the thermoradiation drying chamber. To study the developed technological regimes in production conditions, window blocks were made from coniferous and hardwood. As a paint and varnish material, white water-dispersion acrylic paint from Remmers was used. During the research, a thermal imaging survey of the surface of the window unit was carried out and the temperature was measured at different points in the sample. Based on the results of the research, the relevant conclusions were drawn.

Key words: thermoradiation curing, drying chamber, thermal imaging study, drying modes, paint and varnish material.

Введение. В настоящее время перед деревообрабатывающими предприятиями Республики Беларусь ставится задача по увеличению объемов экспорта конкурентоспособной продукции. В связи с ростом жилищного строительства в странах ближнего и дальнего зарубежья увеличился спрос на столярно-строи-

тельные изделия (ССИ) из древесины, представленные в основном оконными и дверными блоками. Согласно данным статистического комитета Республики Беларусь, экспорт ССИ из дерева в 2015 и 2016 гг. составил 555,7 и 645,2 млн долл. США соответственно [1]. Увеличение объемов экспорта и обеспечение кон-

курентоспособности возможно за счет увеличения количества, сохранения качества и снижения себестоимости продукции.

Объем произведенных столярно-строительных изделий напрямую связан с производственной мощностью предприятия. Изменение этого показателя в большую сторону возможно при увеличении производственной площади или использовании более эффективного оборудования. Ввиду этого применение энергоэффективных, высокопроизводительных, мобильных («гибких») терморadiационных сушильных установок позволит высушить лакокрасочное покрытие в короткие сроки с сохранением надлежащего качества поверхности изделий и без увеличения производственной площади. В связи с этим была сформулирована цель работы, заключающаяся в создании модульной системы сушильной терморadiационной камеры.

Основная часть. При проектировании модуля терморadiационного отверждения учитывались особенности каждого оборудования, входящего в состав камеры, и существующие рекомендации авторов [2–4].

Для исследования распределения температуры от одного инфракрасного излучателя использовались специализированный портативный поверенный прибор – тепловизор FLIR Thermacam E300 (рис. 1) и методика проведения энергетических обследований, описанная в [5]. Прибор представляет собой оптико-электронную систему, позволяющую сформировать из теплового (инфракрасного) излучения обследуемого объекта или места визуально видимое изображение на дисплее. Принцип работы тепловизора основан на разнице температуры поверхности различных тел, отличиях в отражающей или поглощающей способности инфракрасного излучения различными материалами. К тому же, неравномерность нагрева одной и той же поверхности позволяет формировать картину распределения температуры на ней, ассоциируя определенный цвет на дисплее с конкретной температурой, при этом температурное разрешение составляет величину 0,05–0,10°C. Использование тепловизионного обследования позволило определить фактические данные о распределении температуры по поверхности, настроить и выставить в правильное положение излучателя. При помощи тепловизионной съемки были выявлены критические зоны, в которых не высох лакокрасочный материал.

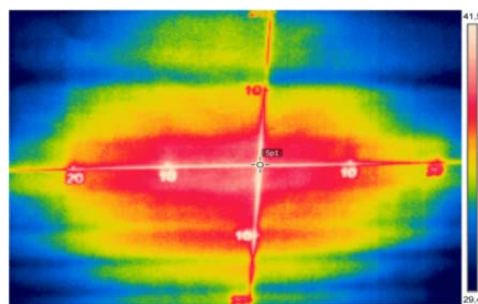
При проведении исследований использовали однократные измерения, в ходе которых исследовали энергоэффективность отдельного объекта (галогенового инфракрасного излучателя) при работе в определенном режиме.



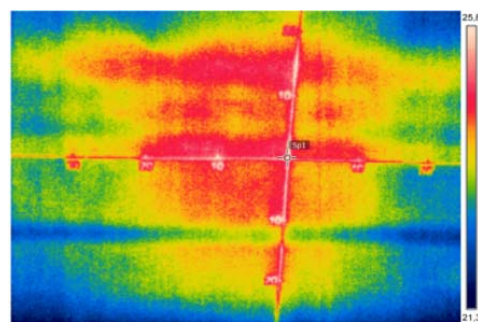
Рис. 1. Общий вид прибора FLIR Thermacam E300

По завершению исследований определяли зависимости распределения температуры по поверхности от времени.

Полученные изображения обрабатывали при помощи программного обеспечения Thermacam QuickReport 1.2. Данная программа позволила построить распределение температуры по поверхности образца, измерить температуру в заданных точках и установить среднюю в выделенном диапазоне. Результаты энергетического исследования поверхности представлены на рис. 2.



а



б

Рис. 2. Карты распределения температуры при расстоянии между излучателем и поверхностью 500 мм (а) и 1000 мм (б) после 15 мин нагрева

При помощи меток были установлены длина и ширина теплового следа, которые составили:

- для расстояния 500 мм – 400×300 мм;
- для расстояния 1000 мм – 400×400 мм.

Принимая во внимание технические характеристики ламп [6], а также согласно проведенным исследованиям, излучатели были установлены через каждые 400 мм.

Анализ полученных изображений позволил измерить среднюю ($44,5^{\circ}\text{C}$) и максимальную температуру на поверхности, которая составила $46,7^{\circ}\text{C}$ для расстояния (между излучателем и нагреваемой поверхностью) 500 мм и $24,3^{\circ}\text{C}$ для расстояния 1000 мм. Согласно литературе [7] температура плавления смолы хвойных пород древесины составляет $55 \pm 5^{\circ}\text{C}$. Расположение излучателя на расстоянии до облучаемой поверхности в 500 мм не будет вызывать образования дефекта «пробитие смолы». Установка расстояния между излучателем и образцом в 1000 мм не вызвала интенсификации пленкообразования лакокрасочного покрытия.

Для увеличения коэффициента полезного действия камеры, снижения теплопотерь и попадания излучения в «зоны тени» было принято решение установить отражатели, изготовленные из листа полированной нержавеющей стали.

Экспериментально выявлено, что в процессе инфракрасной сушки в начальный промежуток времени испаряется большое количество паров растворителей и разбавителей. В связи с этим их необходимо своевременно удалять из зоны сушки. Для этого в модуле была предусмотрена система принудительной вентиляции.

Для равномерного нагрева поверхности оконного блока «ОД 15-9 СП» были взяты три инфракрасные коротковолновые лампы с красной кварцевой колбой и индивидуальным отражателем, имеющие мощность 1000 Вт каждая. Для организации принудительной вентиляции были взяты 4 канальных вентилятора ВКО-150 диаметром 150 мм и мощностью 24 Вт каждый.

Каркас модуля был изготовлен из профильных стальных труб, имеющих сечения 20×40 мм, 40×40 мм и 40×60 мм.

Подключение электроприборов осуществлялось посредством кабеля ВВГ-2 \times 2,5 и ВВГ-2 \times 1,5.

Чертежи инфракрасного сушильного модуля представлены на рис. 3.

С использованием современных средств визуализации по разработанным чертежам была построена 3D-модель установки, изображенная на рис. 4.

Для организации процесса сушки лакокрасочных материалов необходимо соблюдать рекомендованные режимы.

Проведенные ранее исследования [8] и полученные зависимости [9] позволили разработать рекомендации по назначению режимов терморadiационного отверждения ВД-АК и ПУР ЛКМ на поверхности ССИ из древесины (табл. 1–2).

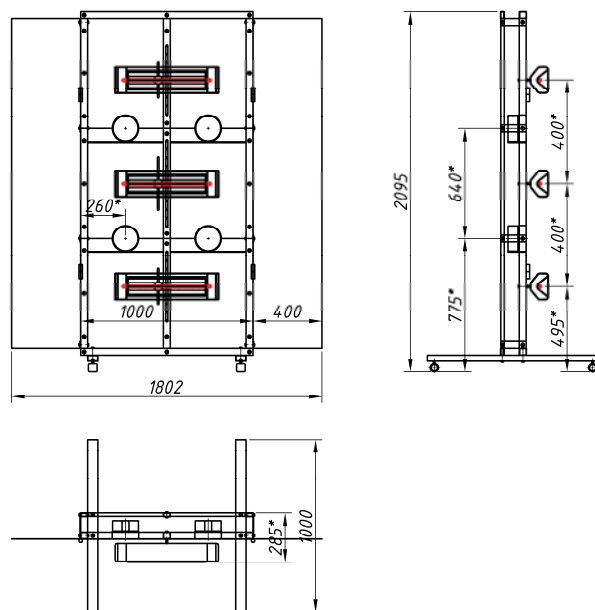


Рис. 3. Общий вид инфракрасного сушильного модуля

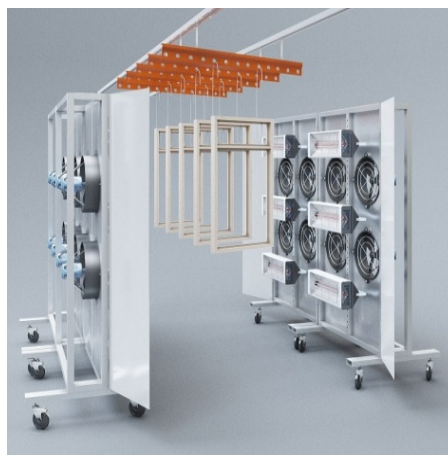


Рис. 4. 3D-модель инфракрасной сушильной камеры

Общая продолжительность полного высыхания одного слоя ВД-АК ЛКМ составила 30 мин (выдержка + сушка). Для ПУР ЛКМ время цикла отверждения зависит от того, на какую поверхность производят нанесение. При создании первого слоя покрытия на древесине цикл сушки составил 11–16 мин. При нанесении второго слоя покрытия – 46–54 мин.

Согласно технической информации на ВД-АК [10] и ПУР [11] ЛКМ, разработанные технологические режимы терморadiационного отверждения позволили значительно сократить цикл сушки (в сравнении с конвективной: для ВД-АК ЛКМ – в 3 раза, для ПУР – в 2 раза).

Для контроля процесса сушки была разработана система управления сушильной установкой на базе программируемого микроконтроллера Arduino UNO.

Таблица 1

Режим инфракрасной сушки водно-дисперсионных акриловых лакокрасочных материалов

Вид ЛКМ		Белая водно-дисперсионная краска	Черная водно-дисперсионная краска
Техн. операция			
Нанесение 1-го и 2-го слоев			
1. Выдержка		10 мин при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 70 \pm 5\%$	
2. Сушка	Расстояние от излучателя до образца, мм	500	
	Толщина сырой пленки, мкм	200	
	Время отверждения, мин	20	
3. Охлаждение		10 мин при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 60 \pm 5\%$	

Таблица 2

Режим инфракрасной сушки полиуретановых лакокрасочных материалов

Вид ЛКМ		Лак	Эмаль
Техн. операция			
Нанесение 1-го слоя			
1. Выдержка		10 мин при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 70 \pm 5\%$	
2. Сушка	Расстояние от излучателя до образца, мм	500	
	Толщина сырой пленки, мкм	100 (200)	
	Время отверждения, мин	11 (16)	
3. Охлаждение		10 мин при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 60 \pm 5\%$	
Нанесение 2-го слоя			
4. Выдержка		10 мин при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 70 \pm 5\%$	
5. Сушка	Расстояние от излучателя до образца, мм	500	
	Толщина сырой пленки, мкм	100 (200)	
	Время отверждения, мин	46 (54)	
6. Охлаждение		10 мин при $T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 60 \pm 5\%$	

Платформа состоит из аппаратной и программной частей. Для программирования использовалась упрощенная версия языка C++, известная также как Wiring. Разработка проводилась с применением среды Arduino IDE. Связь платформы с компьютером осуществлялась посредством порта USB.

Для организации процесса инфракрасной сушки предварительно была собрана схема автоматизации, изображенная на рис. 5.

Для этой схемы автоматизации составлялась программа управления лампами по установленным режимам. На первом этапе микроконтроллер включает все лампы и они работают в течение 5 мин. Осуществляется предварительный нагрев древесины и, как следствие, происходит интенсивное испарение растворителя за счет передачи большого количества энергии.

Одновременно с лампами запускаются осевые вентиляторы для удаления выделенных паров. По достижении на поверхности детали температуры в $40 \pm 5^\circ\text{C}$ микроконтроллер отключает лампы и вентиляторы. Как только температура на поверхности детали достигнет

35°C , микроконтроллер вновь включает лампы и цикл повторяется. Согласно ранее проведенным исследованиям, время цикла было ограничено 20 мин.

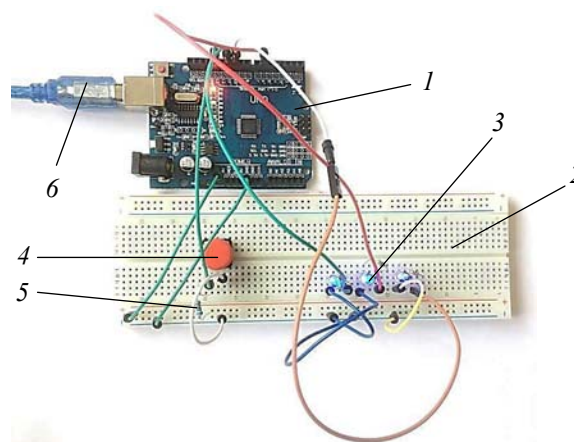


Рис. 5. Схема автоматического управления процессом инфракрасной сушки:

- 1 – программируемый логический контроллер;
- 2 – макетная плата; 3 – светодиод; 4 – кнопка;
- 5 – стягивающий резистор; 6 – USB разъем

Разработанная программа была записана в программируемый логический контроллер при помощи USB кабеля. При нажатии на кнопку запускается предустановленная программа-режим. При этом светодиоды отражают включение инфракрасных ламп, которые подключаются к данной схеме через реле. При подаче управляющего сигнала на реле оно замыкается и лампа включается.

После создания экспериментального модуля установки терморadiационного отверждения было проведено опытно-промышленное испытание технологии терморadiационного отверждения водно-дисперсионного лакокрасочного покрытия оконного блока на ЗАО «ВиндоВуд». Испытание заключалось в оценке распределения температуры по поверхности лакокрасочного покрытия, нанесенного на оконный блок.

Для проведения исследований были подготовлены две партии оконных блоков «ОД 1 О 15-9 ССП» (классификация согласно СТБ 939-2013 [12]) по 5 шт. в каждой, изготовленные из древесины сосны и дуба, имеющие влажность 9–10% и шероховатость поверхности не более 200 мкм (ГОСТ 7016-2013 [13]). Поверхности образцов предварительно шлифовали шкурками P80→P120→P150. На подготовленную поверхность было нанесено два слоя грунтовки GW-360 фирмы Remmers. Перед нанесением слоя краски поверхность подвергли предварительному легкому шлифованию шлифовальной шкуркой P240.

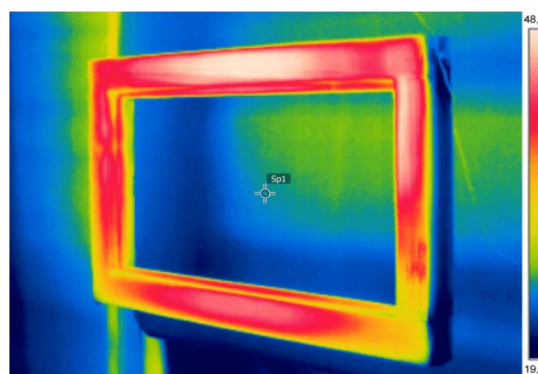
В качестве основного лакокрасочного материала применялась белая водно-дисперсионная акриловая краска DW-601 фирмы Remmers (Германия). На подготовленную поверхность оконных блоков (створок и коробки) наносили лакокрасочное покрытие безвоздушным распылением (диаметр сопла 0,28 мм, давление лакокрасочного материала 105 бар) с контролем толщины сырого слоя ($S = 200 \pm 25$ мкм) в соответствии с СТБ ГОСТ Р 51694–2001 [14] при помощи откалиброванной гребенки.

После нанесения образец подвешивали на траверсу конвейера и проводили предварительную технологическую выдержку, которая составила 10 мин (температура окружающей среды 22°C, относительная влажность 65%). Ранее используемая методика энергетического обследования позволила оценить распределение температуры по поверхности лакокрасочного покрытия, нанесенного на оконный блок (рис. 6).

Согласно показаниям прибора средняя температура на поверхности оконного блока на 20-й минуте составила 46,7°C. Данная температура не вызывает плавления смолы и образования дефектов сушки [15].



а



б

Рис. 6. Расположение излучателя и образца (а); распределение температуры по поверхности оконного блока (б)

Определение степени высыхания ЛКП проводили при помощи разработанной методики, которая заключалась в следующем: на поверхность образца помещали другой с заранее высушенным покрытием таким образом, чтобы лицевые части были повернуты друг к другу. После этого к поверхности прикладывали нагрузку 2 кг и выдерживали под давлением 60 с. Далее нагрузку снимали и выдерживали образцы 30 с, после чего поднимали (за верхний) образцы на высоту 40–50 мм. Если поверхности образцов при этом легко разъединялись без образования дефектов на покрытии, то 3-я степень высыхания считалась достигнутой. В противном случае – не достигнутой. При проведении испытаний 3-я степень высыхания была достигнута на всех образцах.

Заключение. Использование тепловизора FLIR Thermacam E300 позволило исследовать распределение температуры по поверхности, установить среднюю (44,5°C) и максимальную (46,7°C) температуру на участке, учесть полученную информацию при создании модуля камеры терморadiационной сушки. Разработанные режимы терморadiационного отверждения полиуретановых и водно-дисперсионных акриловых лакокрасочных материалов позволили добиться сокращения цикла сушки (в

сравнении с конвективной: для ВД-АК ЛКМ – в 3 раза, для ПУР – в 2 раза) без образования дефектов на поверхности покрытия. Опираясь на проведенные ранее исследования и используя современные средства автоматизации, был создан модуль терморadiационной сушильной камеры, который подтвердил эффективность разработанных технологических режимов. Про-

веденные в производственных условиях исследования доказали, что переход деревообрабатывающих предприятий, занимающихся производством ССИ, с технологии конвективной сушки лакокрасочных покрытий на терморadiационную позволит повысить эффективность производства за счет снижения производственного цикла.

Литература

1. Промышленность Республики Беларусь. Статистический сборник. Минск: Национальный статистический комитет Республики Беларусь, 2017. С. 102.
2. Лебедев П. Д. Расчет и проектирование сушильных установок. М.: Госэнергоиздат, 1963. 320 с.
3. Лебедев П. Д. Теплоиспользующие установки промышленных предприятий. М.: Энергия, 1970. 408 с.
4. Рысин С. А. Вентиляционные установки машиностроительных заводов. М.: Машиностроение, 1964. 704 с.
5. Млынчик В. И. Методика проведения энергетических обследований. СПб.: СРО НП «Три Э», 2011. 128 с.
6. OSRAM. Специальные ультрафиолетовые и инфракрасные лампы и системы. М.: OSRAM GmbH, 2008. 61 с.
7. Сумароков В. П. Химия и технология переработки древесных смол. М.: Гослесбумиздат, 1953. 238 с.
8. Прохорчик С. А., Чуйков А. С. Интенсификация отверждения водно-дисперсионных лакокрасочных материалов на древесине терморadiационным способом // Труды БГТУ. 2017. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 266–272.
9. Чуйков А. С., Прохорчик С. А. Моделирование процесса отверждения водно-дисперсионных и полиуретановых лакокрасочных материалов при терморadiационном нагреве // Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Вып. 27(5). С. 89–92.
10. Техническое описание. Induline DW-601 Aqua Stopp. М.: Remmers GmbH., 2017. 3 с.
11. Техническое описание. Renner FOXX M003. М.: Renner GmbH., 2017. 58 с.
12. Окна и балконные двери для зданий и сооружений. Общие технические условия: СТБ 939-2013. Введ. 06.01.2014. Минск: РУП «Стройтехнорм», 2014. 33 с.
13. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности: ГОСТ 7016-2013. Введ. 01.01.2014. М.: Стандартиформ, 2014. 15 с.
14. Материалы лакокрасочные. Определение толщины покрытия: СТБ ГОСТ Р 51694-2001. Введ. 01.11.2002. Минск: БелГИИС, 2002. 19 с.
15. Материалы лакокрасочные. Термины и определения: ГОСТ 28246-2006. Межгос. стандарт. Введ. 01.01.2007. М.: Стандартиформ, 2006. 28 с.

References

1. *Promyshlennost' Respubliki Belarus'. Statisticheskiy sbornik* [Industry of the Republic of Belarus. Statistical compilation]. Minsk, Nacional'nyy statisticheskiy komitet Respubliki Belarus' Publ., 2017. P. 102.
2. Lebedev P. D. *Raschet i proektirovaniye sushil'nykh ustanovok* [Calculation and design of drying plants]. Moscow, Gosenergoizdat Publ., 1963. 320 p.
3. Lebedev P. D. *Teploispol'zuyushchiye ustanovki promyshlennykh predpriyatiy* [Heat-utilizing installations of industrial enterprises]. Moscow, Energiya Publ., 1970. 408 p.
4. Rysin S. A. *Ventilyatsionnyye ustanovki mashinostroitel'nykh zavodov* [Ventilation plants of machine-building plants]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1964. 704 p.
5. Mlynchik V. I. *Metodika provedeniya energeticheskikh obsledovaniy* [Method of conducting energy surveys]. St. Petersburg, SRO NP "Tri E" Publ., 2011. 128 p.
6. OSRAM. *Spetsial'nyye ul'trafiyol'tovyye i infrakrasnyye lampy i sistemy* [OSRAM. Special ultraviolet and infrared lamps and systems]. Moscow, OSRAM GmbH Publ., 2008. 61 p.
7. Sumarokov V. P. *Khimiya i tekhnologiya pererabotki drevesnykh smol* [Chemistry and technology of processing of wood resins]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1953. 238 p.

8. Prokhorchik S. A., Chuykov A. S. Intensification of curing of water-dispersion paintwork materials on wood by a thermoradiation method. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2017, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 266–272 (In Russian).

9. Chuykov A. S., Prokhorchik S. A. Simulation of the curing process of water-dispersion and polyurethane paint and varnish materials under thermoradiation heating. *Naukoviy visnik NLTU Ukrainy* [Scientific Bulletin of UNFU], 2017, no. 27(5), pp. 89–92.

10. *Tekhnicheskoye opisanіye. Induline DW-601 Aqua Stopp* [Technical description. Induline DW-601 Aqua Stopp]. Moscow, Remmers GmbH. Publ., 2017. 3 p.

11. *Tekhnicheskoye opisanіye. Renner FOXF M003* [Technical description. Renner FOXF M003]. Moscow, Renner GmbH. Publ., 2017. 58 p.

12. STB 939-2013. Windows and balcony doors for buildings and structures. General specifications. Minsk, RUP “Stroytekhnorm” Publ., 2014. 33 p. (In Russian).

13. GOST 7016-2013. Products from wood and wood materials. Surface roughness parameters. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 15 p. (In Russian).

14. STB GOST R51694-2001. Materials for paint and varnish. Determination of coating thickness. Minsk, BelGIIS Publ., 2002. 19 p. (In Russian).

15. GOST 28246-2006. Materials for paint and varnish. Terms and Definitions. Moscow, Standartinform Publ., 2006. 28 p. (In Russian).

Информация об авторах

Прохорчик Сергей Александрович – 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: prohor@tut.by

Чуйков Алексей Сергеевич – магистр технических наук, ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: offlex88@mail.ru

Information about the authors

Prokhorchik Sergey Aleksandrovich – 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: prohor@tut.by

Chuykov Aleksey Sergeevich – Master of Engineering, assistant lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: offlex88@mail.ru

Поступила 25.10.2017

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 621.643.408.8+536.24

В. Б. Кунтыш¹, А. Б. Сухоцкий¹, В. П. Мулин²

¹Белорусский государственный технологический университет

²ЗАО «Октябрьскхиммаш» (Российская Федерация)

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ НАКАТКИ НА ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НЕСУЩЕЙ ТРУБЫ ВИНТОВЫХ ПЛАВНООЧЕРЧЕННЫХ ВЫСТУПОВ В БИМЕТАЛЛИЧЕСКОЙ РЕБРИСТОЙ ТРУБЕ

Приведены конструкция и принцип действия технологичного высокопроизводительного устройства для нагревания эффективных турбулизаторов энергоносителя, движущегося внутри теплообменных биметаллических труб со спиральными алюминиевыми ребрами (БРТ), обтекаемых снаружи принудительным поперечным потоком окружающего воздуха. Подобные БРТ, но с гладкостенной внутренней поверхностью несущей трубы являются в настоящее время основным теплопередающим элементом аппаратов воздушного охлаждения (АВО) топливно-энергетического и химико-лесного комплекса, в теплообменных секциях которых охлаждаются органические жидкости, парогазовые смеси и конденсируются их пары в процессах химической, нефтеперерабатывающей промышленности, при охлаждении минеральных масел, транспортируемого природного газа. Современным БРТ свойственен высокий коэффициент оребрения $\phi \approx 20-22$, что привело к выравниванию термического сопротивления теплоотдаче с внешней и внутренней сторон БРТ АВО. Из этого следует, что последующее улучшение габаритно-массовой характеристики аппаратов возможно интенсификацией теплоотдачи жидкости в противоположность существующему подходу, направленному на повышение в первую очередь теплоотдачи с воздушной стороны. Интенсификация внутренней теплоотдачи органических жидкостей (бензин, керосин, метанол, этанол, парафины) плавноочерченными турбулизаторами оптимальных параметров позволяет увеличить тепловой поток АВО в неизменных габаритах на 7–15% без дополнительных затрат мощности.

Учитывая все вышеизложенное, было разработано высокопроизводительное устройство, позволяющее реализовывать способ турбулизации потока внутренними выступами на несущей трубе наружного диаметра 25 мм с толщиной стенки 2,0–2,5 мм, при этом на внешней поверхности трубы образуются канавки, которые интенсифицируют контактный теплообмен. Скорость накатывания выступов порядка 1,5–3,0 м/мин, для чего применены ролики на трех валках, расположенных по окружности с углом 120° друг относительно друга.

Ключевые слова: биметаллическая труба, несущая труба, плавноочерченные винтовые и кольцевые турбулизаторы, ролики.

V. B. Kuntysh¹, A. B. Sukhotskiy¹, V. P. Mulin²

¹Belarusian State Technological University

²ZAO “Oktyabr’skhhimmash” (Russian Federation)

DEVICE FOR INDUSTRIAL ROLLING ON THE INTERNAL SURFACE OF BEARING TUBE OF SCREW SMOOTH CONTOURED LEDGES IN A BIMETALLIC RIBBED TUBE

The design and principle of act of the technological high-duty device for heating effective turbulizeres the energy carrier moving inside heat exchange bimetallic tubes with spiral aluminium ribs (BRT), flowed round outside a compulsory cross flux of ambient air are resulted. Similar BRT, but with a smooth-bore internal surface of a bearing pipe are now basic heat exchange an element of apparatuses of an air cooling (AVO) a fuel and energy and himiko-wood complex, in heat exchange sections organic liquids are chilled, парогазовые mixes and are condensed their steams in processes chemical, petroleum-refining industry; at cooling of the petroleum oil, carried rock gas. Modern BRT the high factor

оребрения $\varphi \approx 20-22$ is peculiar that led to levelling of a thermal resistance to a convective heat exchange from external and internal parties BRT AVO. It follows from this that the subsequent martempering gabaritno-mass characteristics of apparatuses was possibly an intensification of a convective heat exchange of a liquid contrary to the existing approach on raise first of all a convective heat exchange from the air party. The intensification of an internal convective heat exchange of organic liquids (benzine, kerosene, methanol, ethanol, paraffins) smooth contoured turbulizeres optimum parametres allows to increase thermal stream AVO in invariable gabarits by 7–15% without additional expenses of power.

In connection with stated we develop the high-duty device, allowing to realise a way of a turbulization of a stream internal ledges on a bearing tube of outside diameter of 25 mm with thickness of a wall of 2.0–2.5 mm, thus on an external surface of a tube flutes which intensify contact heat exchange are formed. Speed of rolling ledges of an order of 1.5–3.0 m/min to what rollers on three rolleres, had on a round with an angle 120° from each other are applied.

Key words: bimetallic tube, bearing tube, smooth contoured screw and ring turbulizeres, rollers.

Введение. Биметаллические ребристые трубы (БРТ) получили наибольшее применение в качестве теплопередающего элемента в теплообменных секциях аппаратов воздушного охлаждения (АВО) [1] топливно-энергетического и химико-лесного комплекса, в частности для охлаждения продуктов нефтепереработки, природного газа на компрессорных станциях магистральных газопроводов, в технологических установках по производству метанола, этанола и других органических жидкостей. АВО также используют в системах охлаждения масла крупных силовых трансформаторов и на компрессорных станциях [2] газопроводов. Калориферы лесосушильных камер, сушильной части бумаго- и картоноделательных машин, систем воздушного отопления и вентиляции зданий и сооружений, утилизаторов тепла дымовых газов производственных и отопительных котельных комплектуются также из БРТ.

Конструкция БРТ (рис. 1) современных АВО, калориферов, теплоутилизаторов состоит из гладкостенной металлической несущей трубы 1, преимущественно стальной, и алюминиевой оболочки 2 со спиральными накатными или навитыми [1, 3] ребрами, которая механически соединена с несущей трубой.

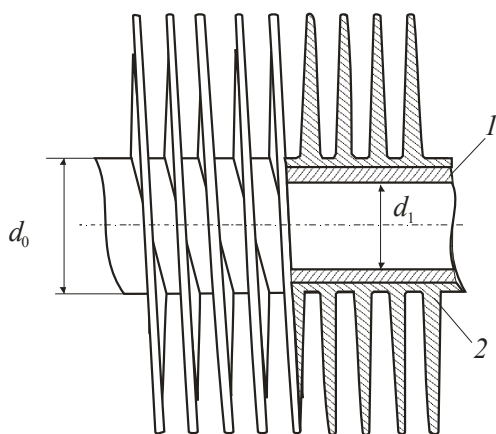


Рис. 1. Биметаллическая ребристая труба

В АВО преимущественно применяются несущие трубы наружного диаметра 25 мм с толщиной стенки 2,0–2,5 мм. Коэффициент оребрения трубы $\varphi \approx 20-22$. Внутри БРТ, из которых собираются шахматные пучки, движется охлаждаемая жидкость или парогазовая смесь, а снаружи ребристая оболочка омывается принудительным поперечным потоком атмосферного воздуха, создаваемого осевыми вентиляторами. При охлаждении органических жидкостей (бензин, керосин, дизельное топливо, толуол, метанол, гексанол, парафины), минерального масла, природного газа, компримируемого воздуха в технологических процессах нефтехимии [1, 4] коэффициент теплоотдачи $\alpha_1 \approx 300-1700$ Вт/(м²·К). Коэффициент теплоотдачи от оребрения трубы к охлаждающему воздуху $\alpha_2 \approx 30-90$ Вт/(м²·К) [4], который значительно меньше α_1 . Однако этот энергетический недостаток присущ всем газожидкостным теплообменникам, к которым относятся и теплообменные секции АВО, предопределяющего низкий коэффициент теплопередачи, а следовательно, значительные габариты и металлоемкость таких аппаратов.

Для улучшения габаритно-массовой характеристики АВО одним из доступных методов является развитие площади поверхности оребрения трубы, т. е. применение БРТ с максимально достигнутым в серийном производстве коэффициентом φ , что увеличивает коэффициент теплопередачи. Достигается сближение значений термического сопротивления теплоотдачи с внутренней $R_1 = (\varphi \cdot d_0/d_1) \cdot (1/\alpha_1)$ и внешней $R_2 = 1/\alpha_2$, (м²·К)/Вт сторон трубы [3], где d_1 – внутренний диаметр несущей трубы; d_0 – диаметр трубы по основанию ребер. Это подтверждается нижеследующим расчетом для указанных значений α_1 и α_2 и применяемой в промышленных АВО БРТ с $\varphi \approx 20$, $d_1 = 21$ мм, $d_0 = 26$ мм: $R_1 = 0,084-0,015$ (м²·К)/Вт и $R_2 = 0,033-0,011$ (м²·К)/Вт.

По экономическим расчетам достигнутое значение φ близко к энергетически целесооб-

разному. Следовательно, возможность интенсификации теплопередачи в случае охлаждения однофазных органических жидкостей и газов рассмотренным методом исчерпана. Значит необходимо применять интенсификацию теплоотдачи с внутренней стороны БРТ турбулизацией и разрушением пограничного слоя охлаждаемых однофазных сред. Известно множество различных конструкций турбулизаторов [5, 6] и физико-технических подходов [7] для решения этой задачи. Применительно к АВО наряду с высокой энергетической эффективностью метода интенсификации определяющими требованиями являются его технологичность, невысокая стоимость, производительность в крупносерийном производстве с учетом большого объема производства БРТ, исчисляемого миллионами метров [8]. Также нежелателен рост металлоемкости трубы и дополнительные затраты ручного труда. Изложенным требованиям удовлетворяет метод интенсификации теплоотдачи внутри трубы поперечными кольцевыми плавноточечными турбулизаторами [9, 10] на внутренней стенке, которые генерируют мелкие вихри внутри пристенного слоя движущейся жидкости и повышают его уровень турбулентности. Вихри не диффундируют в ядро потока, что ограничивает чрезмерный рост гидравлического сопротивления. В турбулентном режиме по сравнению с гладкой трубой наблюдается увеличение теплоотдачи в 1,3–2,6 раза при некотором опережающем росте гидравлического сопротивления в 1,4–3,5 раза [10, 11] для оптимальных параметров турбулизаторов. Снаружи над кольцевыми выступами возникают в стенке трубы поперечные канавки от действия накатных роликов технологии ВНИИметмаш [12], которая применяется для тонкостенных труб кожухотрубных теплообменников.

Производительность технологии накатки возрастает при переходе на трубы с винтовыми плавноточечными выступами (рис. 2), но значительно уменьшается интенсификация теплоотдачи и пророст гидравлического сопротивления [13].

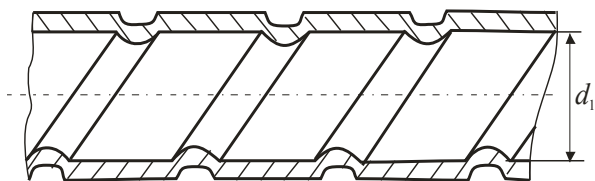


Рис. 2. Несущая труба

Интенсификация теплоотдачи винтовыми выступами заложена в способе [14] увеличения тепловой эффективности БРТ АВО, для чего

ВНИПТХНА (г. Волгоград) разработал технологию накатки спиральных выступов на толстостенных несущих трубах, а Таллиннский машиностроительный завод разработал приспособление для накатки и изготовил установочную партию труб (рис. 3). Наши исследования [15] показали, что наряду с интенсификацией теплоотдачи имеет место снижение в 1,5–1,6 раза контактного термического сопротивления из-за возросшей плотности соединения ребристой оболочки с несущей трубой ввиду закатывания алюминия в канавки на стенке несущей трубы. Также уменьшается осевая вытяжка толстостенной алюминиевой трубы-заготовки для экструдирования ребер, что обеспечивает экономию алюминия. Однако в доступной научно-технической литературе не обнаружены конструкции устройства и его описание для изготовления БРТ с толстой стенкой, кроме общеизвестных принципов [16, 17].



Рис. 3. Биметаллическая ребристая труба с накатными спиральными выступами на несущей трубе

Цель работы – восполнение обнаруженного пробела в изготовлении БРТ АВО повышенной энергоэффективности.

Основная часть. Устройство (рис. 4, 5, 6) для накатывания винтовых канавок на несущей трубе с последующим ее оребрением методом поперечно-винтовой прокатки [12, 18] или спиральной навивкой [3] алюминиевой ленты представляет собой трехроликовый механизм с регулируемым приводом и регулированием параметров винтовых канавок по шагу и глубине. Оно состоит из станины 1, на которой установлен роликовый блок, привод в виде мотора-редуктора, сменных шестерен, пульта управления.

Роликовый блок представляет собой шестигранный корпус 2, в котором под углом 120° в отверстие установлены три хвостовика 7 с присоединенными несущими платформами 3. К каждой платформе присоединена роликовая

головка, которая является подвижным регулируемым узлом, включающим закрепленный к плоскости платформы подшипниковый блок 4, в котором на подшипниках размещен вал 24, на его консольной стороне находятся накатной ролик 6, дистанционная шайба 26 и съемная подшипниковая опора 5, предотвращающая изгиб консольной части вала 24 от возникающей радиальной нагрузки со стороны ролика 6 при работе устройства. Для вращения роликов 6 валы 24 связаны с одной стороны с гибкими (карданными) валами 25.

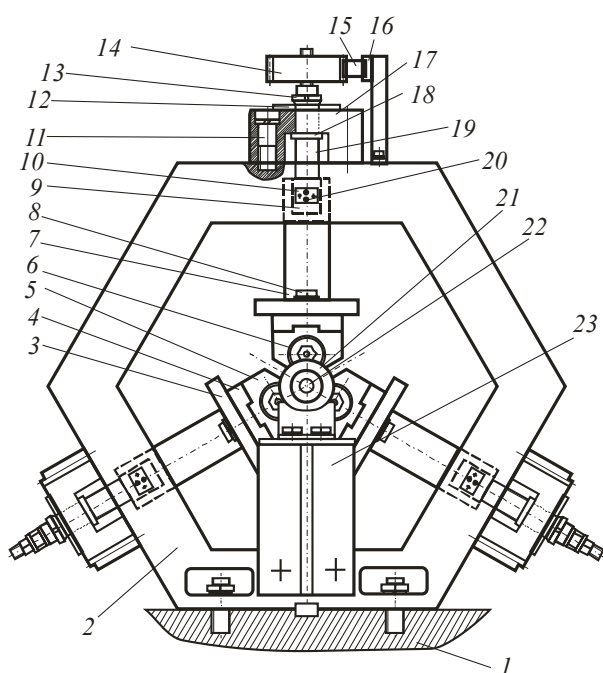


Рис. 4. Общий вид устройства спереди

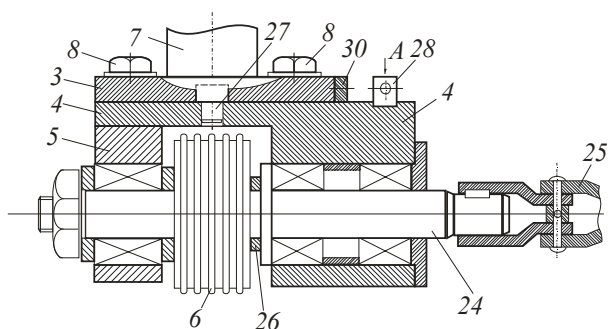


Рис. 5. Продольный разрез роликовой головки

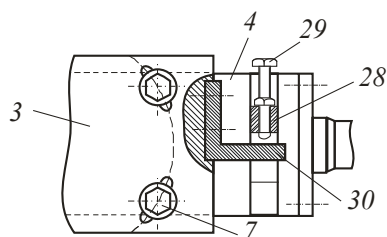


Рис. 6. Фрагмент устройства по направлению А

Для установки роликовых головок на определенный угол, соответствующий углу подъема винтовой канавки, они поворачиваются вокруг центральной оси с помощью установленного ступенчатого стержня 27, один конец которого входит в отверстие несущей платформы 3, соосное с ее хвостовиком 7. Платформа имеет круговые отверстия, через которые проходят крепежные болты 8, жестко соединяющие подшипниковый блок 4 с несущей платформой. На верхней части хвостовика 7 выполнена «лыска» 9, перпендикулярно плоскости платформы 4 и параллельно своей оси. Это позволяет посредством специального шаблона 10 в виде пластины, проходящего через соответствующее отверстие шестигранного корпуса 2, установить «0» – нулевое положение несущей платформы. Пластина шаблона 10 контактирует с «лыской» 9 хвостовика 7 и устанавливает его перпендикулярно оси обрабатываемой трубы 21. Для предотвращения люфта хвостовика шаблон укреплен на шестигранном корпусе болтами 20.

От нулевого положения несущей платформы производят установку подшипникового блока 4 с роликом на угол, соответствующий шагу винтовых канавок. Для этой цели на тыльной части несущей платформы закреплен неподвижный упор 30, а на подшипниковом блоке – упор 28 с установочным винтом 29, который взаимодействует с плоскостью неподвижного упора. При нахождении несущей платформы в нулевом положении установочный винт во время вращения упирается в плоскость неподвижного упора. Для поворота подшипникового блока с роликом на необходимый угол между установочным винтом и плоскостью неподвижного упора вставляется мерная плитка соответствующего размера, при этом подшипниковый блок с роликом и несущей платформой поворачивается на определенный угол и закрепляется болтами 8 с несущей платформой.

В радиальном направлении подшипниковый блок с роликом и несущей платформой регулируется с помощью винта 19, связанного с резьбовым концом хвостовика 7. Винт 19 с заплечиком 18 опирается с одной стороны на плоскость траверсы 17, закрепленной винтами 11 к шестигранному корпусу, а с другой стороны через две пластины 12, охватывающие винты 19, прижимается к верхней плоскости траверсы гайкой 13. Две нижние роликовые головки после регулирования в радиальном направлении остаются неподвижными, а верхняя роликовая головка совершает рабочий ход с помощью пневмоцилиндра (не показан на рис. 4). Для этой цели на верхней части винта 19 закреплена шестерня 14, взаимодействующая с зубчатой рейкой 15, которая перемещается по направ-

ляющей 16 с помощью пневмоцилиндра, шток которого жестко связан с зубчатой рейкой. На выходе конца обрабатываемой трубы 21 из роликов установлен кронштейн 23 со сменной центрирующей втулкой 22, предназначенной для различных диаметров обрабатываемых труб. Для привода валов 24 с накатными роликами используются карданные валы, связанные через систему шестерен с мотором-редуктором.

Для обеспечения накатывания на несущей трубе винтовых канавок (рис. 2) устройство снабжено подающим и приемным стеллажами с направляющими лотками, вдоль которых расположены концевые выключатели, контролирующей необходимую длину обрабатываемых труб.

Смена накатных роликов осуществляется следующим образом: с вала снимаются подшипниковая опора 5 и накатной ролик. После замены ролик и опора устанавливаются на прежнее место.

Для установки накатных роликов вдоль оси обрабатываемой трубы 21 используются упорные дистанционные шайбы 26, отличающиеся между собой по толщине: на верхнем ролике толщина шайбы «а» (≈ 5 мм), на втором – $4a/3$, на третьем – $5a/3$. Рабочая часть накатных роликов выполнена с кольцевыми витками с необходимым шагом. Диаметр роликов равен 90 мм, высота – 15–20 мм.

Размеры получаемых винтовых канавок на несущей трубе 25/20 мм (основной типоразмер АВО) следующие: шаг 2,5 мм; глубина 0,4–0,5 мм; ширина 0,45–0,50 мм. Под канавками на внутренней поверхности трубы образуются винтовые плавноочерченные выступы высотой $\approx 0,20$ –0,25 мм. Следует отметить, что толщина стенки должна быть не менее 2,5 мм, иначе может произойти смятие трубы из-за потери устойчивости ее в радиальном направлении.

Крутящий момент для накатывания канавок указанных размеров 30–50 Н·м и зависит от шага канавок, а необходимое радиальное усилие на ролик составляет 6000–8000 Н. В качестве привода накатных роликов может использоваться мотор-редуктор мощностью 3–4 кВт с частотой вращения выходного вала 250 мин^{-1} и возможностью увеличения частоты до 500 мин^{-1} , что обеспечит производительность накатного устройства 1,5–3,0 м/мин.

Каждый ролик накатывает 1/3 длины канавки одинаковой глубины и своими витками попадает в канавки от предыдущего ролика. Для этого они установлены друг от друга на 1/3 исходной толщины прокладки.

Работает устройство следующим образом. Загрузочный стеллаж подает исходную гладкую несущую трубу в зону накатных роликов б, включаются приводы всех роликов, а верхняя

роликовая головка вместе с платформой 3 совершает ход вниз с помощью пневмоцилиндра и зубчатой рейки 15, взаимодействующей с шестерней 14, при этом ролики б внедряются в стенку трубы на необходимую глубину. Две нижние роликовые головки остаются неподвижными в радиальном направлении, положение их устанавливается предварительно. Под действием верхнего ролика труба 21 входит во взаимодействие с двумя нижними роликами, рабочие витки которых внедряются в трубу, накатывая винтовые канавки. При внедрении роликов труба начинает вращаться и перемещаться в продольном направлении, проходя через центрирующую втулку 22 и далее по лотку приемного стеллажа до концевого выключателя, который подает команду на выключение пневмоцилиндра. Шток пневмоцилиндра перемещает зубчатую рейку 15 в обратном направлении и ролик б поднимается в верхнее положение. В результате труба 21 освобождается от роликов и удаляется с приемного стеллажа в тару для дальнейшего ее оребрения. Затем цикл повторяется.

Представленное накатное устройство внедрено на ЗАО «Октябрьскхиммаш» (Республика Башкортостан) (рис. 7).

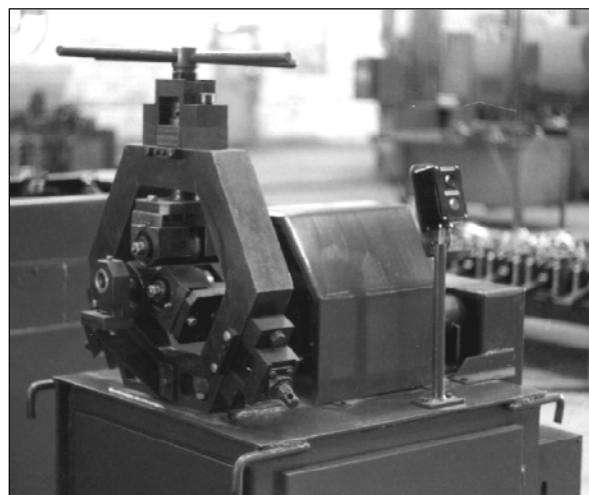


Рис. 7. Внешний вид устройства со стороны выхода несущей трубы

Заключение. Разработано, изготовлено и апробировано в промышленных условиях устройство для производства БРТ АВО с интенсифицированной теплоотдачей для охлаждения органических жидкостей, увеличивающее тепловой поток аппарата на 7–15% в неизменных габаритах и мощности вентилятора, повышающее надежность механического соединения ребристой оболочки с несущей трубой, что расширяет применение таких труб до температуры стенки 350–380°C.

Литература

1. Шмеркович В. М. Современные конструкции аппаратов воздушного охлаждения // Обзорная информ. Сер. Химическое и нефтеперерабатывающее машиностроение ХМ-1. М.: ЦИНТИнефтехим, 1979. 70 с.
2. Степанов О. А., Иванов В. А. Охлаждение масла на компрессорных станциях. Л.: Недра, 1982. 143 с.
3. Кунтыш В. Б., Кузнецов Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 280 с.
4. Примеры расчетов нестандартизированных эффективных теплообменников / В. Б. Кунтыш [и др.]. СПб.: Недра, 2000. 300 с.
5. Бузник В. М. Интенсификация теплообмена в судовых установках. Л.: Судостроение, 1969. 364 с.
6. Берглес А. Е. Интенсификация теплообмена. Теплообмен. Достижения. Проблемы. Перспективы // Избранные труды 6-й Междунар. конф. по теплообмену: пер. с англ. М.: Мир, 1981. С. 145–192.
7. Мигай В. К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980. 144 с.
8. Повышение энергетической эффективности модернизируемых трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения / В. Б. Кунтыш [и др.] // Химическая техника. 2013. № 9. С. 12–18.
9. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Ярхо С. А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1972. 320 с.
10. Эффективные поверхности теплообмена / Э. К. Калинин [и др.]. М.: Энергоатомиздат, 1988. 408 с.
11. Кирпиков В. А., Мусави Найниан С. М. Количественная оценка эффективности метода интенсификации конвективного теплообмена турбулизацией пограничного слоя // Химическое и нефтяное машиностроение. 1994. № 12. С. 4–6.
12. Барбарич М. В., Кирпичников Ф. П. Новые методы поперечной и поперечно-винтовой прокатки металлов. М.: ВИНТИ АН СССР, 1957. 90 с.
13. Назмеев Ю. Г., Лавыгин В. М. Теплообменные аппараты ТЭС. М.: МЭИ, 2002. 260 с.
14. А. с. СССР 1016003. Способ производства биметаллических ребристых труб / Б. Г. Бунеев [и др.] // Бюл. изобр. 1983. № 17. С. 166.
15. Кунтыш В. Б. Исследование термического контактного сопротивления биметаллических ребристых труб с внутренней винтовой накаткой // Изв. вузов. Проблемы энергетики. 2001. № 1–2. С. 16–22.
16. Бабичков А. Д. Оребрение медных труб методом накатки // Химическое и нефтяное машиностроение. 1972. № 7. С. 24.
17. Грудов А. А., Комаров П. Н., Ржевский Б. Ф. Резьбонакатные ролики повышенной производительности // Станки и инструмент. 1974. № 4. С. 22.
18. Кирпичников Ф. П. Прокатка ребристых труб для теплообменников // Оборудование для прокатки изделий сложной формы. М.: ЦИНТИАМ, 1963. С. 10–69.

References

1. Shmerkovich V. M. Modern designs of apparatuses of an air cooling. *Obzornaya inform* [Survey information], series Chemical and Oil Refining Engineering Industry, 1979, 70 p (In Russian).
2. Stepanov O. A., Ivanov V. A. *Okhlazhdeniye masla na kompressornykh stantsiyaykh* [Oil cooling on compressor plants]. Leningrad, Nedra Publ., 1982. 143 p.
3. Kuntyshev V. B., Kuznetsov N. M. *Teplovoy i aerodinamicheskiy raschety orebrennykh teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya* [Thermal and aerodynamic calculations ribbed heat exchangers of air cooling]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1992. 280 p.
4. Kuntyshev V. B., Bessonnyu A. N., Dreyser G. A. *Primery raschetov nestandardizirovannykh effektivnykh teploobmennikov* [Instances of calculations of not standardised effective heat exchangers]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2000. 300 p.
5. Buznik V. M. *Intensifikatsiya teploobmena v sudovykh ustanovkakh* [Heat exchange intensification in ship installations]. Leningrad, Sudostroeniye Publ., 1969. 364 p.
6. Bergles A. E. Heat exchange intensification. Heat exchange. Achievements. Problems. Prospects. *Izbrannyye trudy 6-y Mezhdunar. konf. po teploobmenu* [The selected works of 6-th International conference on heat exchange], 1981, pp. 145–192 (In Russian).
7. Migay V. K. *Povysheniye effektivnosti sovremennykh teploobmennikov* [Raise of efficiency of modern heat exchangers]. Leningrad, Energiya Publ., 1980. 144 p.

8. Kuntyshev V. B., Sukhotskiy A. B., Mulin V. P., Minnigaleev A. Sh. Raise of power efficiency of modernised trumpet bunches of apparatuses of an air cooling. *Khimicheskaya tekhnika* [Chemical technics], 2013, no. 9, pp. 12–18 (In Russian).
9. Kalinin E. K., Dreytser G. A., Yarkho S. A. *Intensifikatsiya teploobmena v kanalakh* [Heat exchange intensification in channels]. Moscow, Mashinostroeniye Publ., 1972. 320 p.
10. Kalinin E. K., Dreytser G. A., Kopp I. Z., Myakochin S. A. *Effektivnyye poverkhnosti teploobmena* [Effective heat-exchange surfaces]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1988, 408 p.
11. Kirpikov V. A., Musavi Nayniyan S. M. Quantitative estimation of efficiency of a method of an intensification of a convective heat transfer a boundary layer turbulization. *Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroeniye* [Chemical and oil engineering industry], 1994, no. 12, pp. 4–6 (In Russian).
12. Barbarich M. V., Kirpichnikov F. P. *Novyye metody poperechnoy i poperechno-vintovoy prokatki metallov* [New methods of the transverse and transverse screw rolling of metals]. Moscow, VINTI AN SSSR Publ., 1957. 90 p.
13. Nazmeev Yu. G., Lavygin V. M. *Teploobmennyye apparaty TES* [Heat-exchange apparatus of thermal electrical plants]. Moscow, MEI Publ., 2002. 260 p.
14. Buneev B. G., Yurova T. I., Tal'ving T. A. C. C. 1016003 USSR. *Sposob proizvodstva bimetallicheskikh rebristyykh trub* [Way of creation of bimetallic ribbed tubes]. Bulletin of the originator. 1974, no. 4, p. 22 (In Russian).
15. Kuntyshev V. B. Research of a thermal contact resistance of bimetallic ribbed pipes with internal screw rolling. *Izv. vuzov. Problemy energetiki* [News of high schools. Power engineering problems], 2001, no. 1–2, pp. 16–22 (In Russian).
16. Babichkov A. D. Ribbing copper tubes a method of rolling. *Khimicheskoye i neftyanoye mashinostroeniye* [Chemical and oil engineering industry], 1972, no. 7, pp. 24 (In Russian).
17. Grudov A. A., Komarov P. N., Rzhevskiy B. F. Thread rolls of the raised productivity. *Stanki i instrument* [Rigs and tool], 1974, no. 4, pp. 22 (In Russian).
18. Kirpichnikov F. P. Rolling of ribbed pipes for heat exchangers. *Oborudovaniye dlya prokatki izdeliy slozhnoy formy* [Equipment for rolling of products of the difficult form], 1963, pp. 10–69 (In Russian).

Информация об авторах

Кунтыш Владимир Борисович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: egit@belstu.by

Сухоцкий Альберт Борисович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alk2905@mail.ru

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

Sukhotskiy Albert 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

Mulin Victor Petrovich – engineer of Joint-Stock Company “Oktyabr’skhhimmash” (2/1, Trudovaya str., 452613, Ocityabr’skiy, Republic of Bashkortostan, Russian Federation).

Поступила 11.02.2017

УДК 699.8:621.18

З. Г. Марьяна, А. Ю. Верещагин, А. В. Новожилова, Н. В. Латышова, К. О. Исаева
Северный Арктический федеральный университет
имени М. В. Ломоносова (Российская Федерация)

ПОВЫШЕНИЕ ТЕПЛОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КИРПИЧНОГО ЗДАНИЯ САФУ

Микроклимат помещений формируется под воздействием процессов теплообмена с внешней средой через наружные ограждения, режимом отопления, внутренними теплопоступлениями и другими факторами. При эксплуатации зданий со временем строительные материалы могут разрушаться, изменяя свои теплотехнические свойства. Основным направлением сокращения расходов на отопление является увеличение теплового сопротивления ограждающих конструкций путем их утепления. Исследование теплозащитных свойств, сопоставление фактических и расчетных значений термических сопротивлений наружных ограждающих конструкций кирпичного здания САФУ до и после утепления является актуальной задачей с точки зрения энергосбережения.

Оценка тепловой защиты и энергетической эффективности кирпичного здания САФУ была выполнена расчетным путем и инструментальным измерением в натуральных условиях. В работе представлены результаты пятилетнего исследования ограждающих конструкций кирпичного здания САФУ постройки первой половины прошлого века, которые подверглись реконструкции. Приведены расчетные и фактические термические сопротивления ограждающих конструкций до и после утепления, выполнено их сравнение с нормативными значениями по санитарно-гигиеническим требованиям и исходя из условий энергосбережения. Эксперименты подтвердили сходимость расчетных и фактических значений термического сопротивления наружной стены во всех случаях инструментальных замеров. В результате проведенной реконструкции был достигнут класс энергоэффективности здания *B*.

Ключевые слова: тепловой поток, термическое сопротивление, ограждающие конструкции, инструментальное измерение плотности теплового потока, коэффициент теплоотдачи, рентабельность, класс энергоэффективности.

Z. G. Mar'ina, A. Yu. Vereshchagin, A. V. Novozhilova, N. V. Latyshova, K. O. Isaeva
Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (Russian Federation)

INCREASE OF ENCLOSING STRUCTURES THERMAL PROPERTIES OF NARFU BRICK BUILDING

Microclimate of premises is formed under the influence of heat exchange processes with the external environment through enclosing parts, heating mode, internal heat input and other factors. Building materials can collapse over time, changing their thermal properties, during the buildings operation. The main direction in decreasing the heating costs is increasing the thermal resistance of enclosing structures by their insulation. Research of thermal properties, comparison of actual and calculated values of enclosing parts thermal resistance of NARFU brick building before and after insulation is an actual task in terms of energy saving.

The estimation of thermal protection and energy efficiency of the NARFU brick building was made by calculation and by instrumental measurement in full-scale conditions. The paper presents the results of a five-year study of the enclosing structures of the NARFU built in the first half of the last century, which were reconstructed. Calculated and actual thermal resistances of enclosing structures before and after insulation, their comparison with the normative values for sanitary and hygienic requirements and energy saving conditions are given. The experiments confirmed the convergence of the calculated and actual values of the thermal resistance of the outer wall in all cases of instrumental measurements. As a result of the reconstruction, the energy efficiency class of building *B* was achieved.

Key words: heat flow, thermal resistance, enclosing structures, instrumental measurement of heat flux density, heat transfer coefficient, profitability, energy efficiency class.

Введение. В современных условиях энергосбережение служит одним из эффективных инструментов решения глобальных экологических проблем. Повышение энергоэффективности потребления тепловой энергии является

ключевым звеном, связывающим проблемы экологии и энергетики [1].

Россия – самая холодная страна в мире, что требует колоссальных затрат на отопление. В советский период из-за дешевизны топливно-

энергетических ресурсов стены домов проектировались и строились в 3 раза тоньше, чем этого требуют климатические условия России. Поэтому основным направлением сокращения расходов на отопление является увеличение теплового сопротивления ограждающих конструкций путем их утепления.

Оценка тепловой защиты [2] и энергоэффективности зданий может выполняться различными способами: расчетным путем [3] и инструментальными измерениями в натуральных условиях [4]. Комплексное применение этих методов позволяет оценить теплотехническое состояние здания, выявить скрытые дефекты его теплозащитной оболочки.

Архангельск относится к приарктической зоне с большой продолжительностью отопительного периода. Расчетная температура наружного воздуха для систем отопления составляет -33°C [5]. Климат Архангельска характеризуется неустойчивостью погодных условий. Например, температура наружного воздуха может изменяться от суток к суткам до $\pm 20^{\circ}\text{C}$.

Исследование теплозащитных свойств, сопоставление фактических и расчетных значений термических сопротивлений наружных ограждающих конструкций кирпичного здания САФУ до и после утепления является актуальной задачей с точки зрения энергосбережения, что обусловило цель настоящей работы.

Основная часть. Экспериментальные исследования проводились в здании лаборатории кафедры теплоэнергетики и теплотехники, которое условно разделено на 3 части: лаборатория, помещения бывшей котельной, используемые под склад, и машинный зал с экспериментальными установками. Здание лаборатории было построено в первой половине XX в. Наружные стены выполнены из красного кирпича толщиной 525 мм. Общий износ здания на момент энергоаудита составил более 60% согласно техническому паспорту БТИ.

Анализ затрат на энергоресурсы показал, что наибольшая часть приходится на тепловую энергию (рис. 1), поэтому самым перспективным с точки зрения повышения энергоэффективности здания является сокращение затрат на отопление.

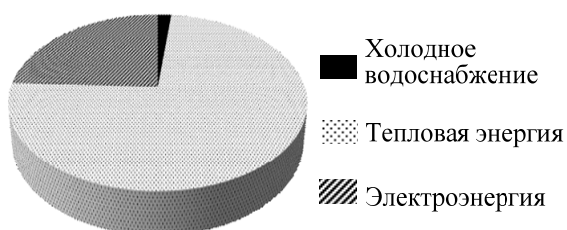


Рис. 1. Соотношение затрат на ТЭР

Проведенное в 2012 г. энергетическое обследование здания показало [6] сильный износ основных конструктивных элементов и инженерных систем:

- 1) кирпичная кладка наружных стен имеет дефекты и частичное разрушение;
- 2) двойное остекление в деревянных переплетах не удовлетворяет современным требованиям по тепловой защите зданий;
- 3) входные двери не обеспечивают плотного притвора;
- 4) тепловизионное обследование выявило значительное количество мест повышенных тепловых потерь и наличие нарушения циркуляции в нагревательных приборах.

Отмеченные замечания приводят к повышенным потерям тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции. Таким образом, обследование подтвердило необходимость проведения ремонта здания и утепления ограждающих конструкций.

Ремонт и реконструкция кирпичного здания САФУ проводились в несколько этапов.

На первом этапе в рамках «Программы развития ФГАОУ ВПО САФУ имени М. В. Ломоносова» был предусмотрен ремонт здания, в ходе которого увеличена полезно используемая площадь здания за счет вовлечения в эксплуатацию и учебный процесс неотапливаемой части здания склада с увеличением доли остекления, реконструирована система отопления, заменены двери, проведен косметический ремонт помещений.

На втором этапе окна заменены на двухкамерные стеклопакеты в одинарном переплете с термическим сопротивлением $R = 0,51 \text{ (м}^2\cdot\text{К)/Вт}$. Проведено утепление пола во вновь вводимых помещениях и чердачных перекрытий легкими теплоизоляционными плитами, изготовленными из каменной ваты базальтовых пород ROCKWOOL, а также заменена кровля.

На третьем этапе проводилось утепление наружных стен здания с установкой вентилируемого фасада. В качестве утеплителя использовались теплоизоляционные плиты ROCKWOOL толщиной 0,1 м.

Расчетом определены тепловые потери через окна, пол, чердак и стены до и после утепления.

Экономия тепловой энергии при внедрении мероприятий по утеплению ограждающих конструкций на втором и третьем этапах представлена на рис. 2.

Если принять тепловые потери без утепления за 100%, то полное утепление позволяет снизить тепловой поток на 74%. Очевидно, комплексное решение проблем дает наибольший эффект.

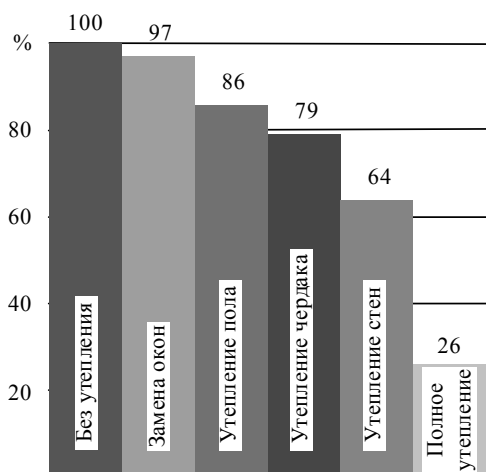


Рис. 2. Изменение тепловых потерь при внедрении мероприятий

Первый этап реконструкции многозатратный и нерентабельный, так как увеличивается площадь отапливаемых помещений с увеличением доли остекления.

Для второго этапа реконструкции рентабельность составила $IP = 2,45$, т. е. каждый рубль инвестиций даст 2,45 руб. прибыли. Срок окупаемости составит 4 года 5 мес., и группа мероприятий, проводимых на втором этапе реконструкции, относится к среднесрочным.

Для третьего этапа рентабельность составит $IP = 0,13$, т. е. каждый рубль инвестиций даст 0,13 руб. прибыли. Срок окупаемости составит 21 год 6 мес., следовательно, утепление фасадов здания относится к долгосрочным мероприятиям.

Утепление здания обычно приводит к нормализации параметров микроклимата в учебных, производственных и служебных помещениях в соответствии с санитарно-гигиеническими нормами.

Определение фактического значения термического сопротивления и оценка состояния ограждающих конструкций были выполнены при помощи измерителя плотности теплового потока ИТП-МГ4.03/Х(У) «ПОТОК» [7], который состоит из электронного блока и модуля с семью датчиками теплового потока и тремя датчиками температуры (рис. 3) и позволяет проводить замеры этих параметров с определенным временным интервалом. Погрешность измерения теплового потока $\pm 6\%$, температуры $\pm 0,2^\circ\text{C}$.

В качестве датчиков температуры применяются платиновые термодатчики сопротивления в металлическом корпусе, обеспечивающие измерение поверхностных температур твердых тел путем их крепления (наклеивания) на исследуемые поверхности, а также температур воздуха.



Рис. 3. Общий вид прибора

Электронный блок включает устройства программирования модулей, сбора и хранения информации, накопленной модулями, передачи данных на ПК и индикации результатов измерения.

Участки поверхности ограждающих конструкций, на которые устанавливались датчики теплового потока, зачищались до устранения видимых и осязаемых на ощупь шероховатостей.

Датчики плотно прижимались по всей его поверхности к ограждающей конструкции и закреплялись, обеспечивая постоянный контакт датчика теплового потока с поверхностью исследуемых участков в течение всех измерений. Для исключения воздушных зазоров на участке поверхности в местах измерений наносится тонкий слой теплопроводной пасты, перекрывающий неровности поверхности. Датчики теплового потока не должны смещаться по поверхности, чтобы исключить искажение величины теплового потока в зоне измерения. Способ крепления и размещение датчиков приведены на рис. 4.

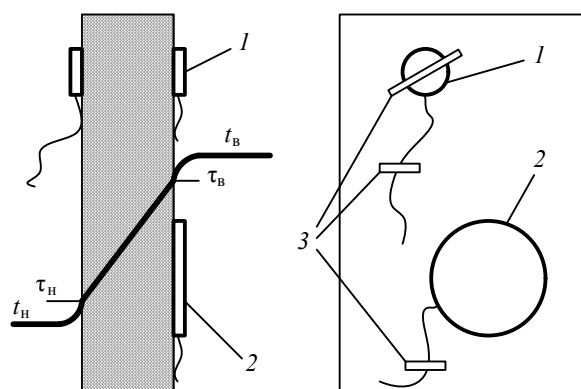


Рис. 4. Изменение температуры по толщине стены и крепление датчиков при проведении замеров:

1 – датчик температуры;

2 – датчик теплового потока; 3 – клейкая лента

Инструментальные замеры проводили до и после утепления наружных стен в одном из учебных помещений лаборатории.

До утепления выполнялись две серии опытов (март 2014 г.). Задачей первой серии было определение фактического коэффициента теплоотдачи с внутренней стороны $\alpha_{в}$ [8]. При этом измерялись плотность теплового потока q , температура внутренней поверхности стены $t_{ст}$ и температура воздуха в аудитории $t_{в}$. Результаты замеров представлены на рис. 5.

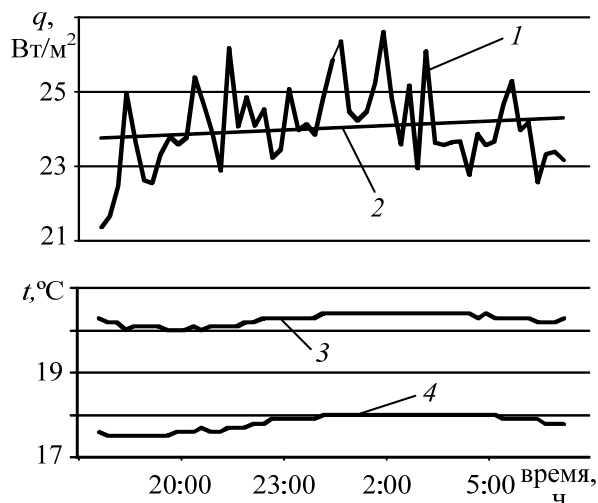


Рис. 5. Результаты замеров в первой серии опытов:
1 – плотность теплового потока;
2 – среднее значение плотности теплового потока;
3 – температура воздуха в помещении;
4 – температура внутренней поверхности стены

Среднее значение плотности теплового потока через стенку составило $q = 24 \text{ Вт/м}^2$. При этом изменение температур внутренней поверхности стены воздуха в аудитории незначительно и можно принять $t_{ст.в} = 17,8^\circ\text{C}$ и $t_{в} = 20,3^\circ\text{C}$ соответственно. Это отвечает коэффициенту теплоотдачи от воздуха к внутренней стенке $\alpha_{в} = 9,6 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$ и превышает нормативное значение $\alpha_{в} = 8,7 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{K)}$ на 10%.

Во второй серии опытов определяли полное термическое сопротивление стены. Замеряли плотность теплового потока q , температуры на внутренней $t_{ст.в}$ и внешней $t_{ст.н}$ поверхностях стены и температуру наружного воздуха $t_{н}$. Результаты приведены на рис. 6.

За период измерений с 17 ч до 5 ч температура наружного воздуха понижалась с $-3,3^\circ\text{C}$ до -9°C , а с 5 до 8 ч утра стала повышаться до -4°C . Минимальное значение теплового потока приходится на 00 ч, в то время как наиболее низкая температура наружного воздуха наблюдалась около 5 ч. Средний тепловой поток через стену за период измерений составил 28 Вт/м^2 . При понижении температуры наружного воздуха соответственно снижалась температура наружной поверхности стены, их разность составляла около 2°C . В период с 21 до 00 ч тем-

пература наружного воздуха и наружной поверхности стенки остается примерно постоянной, соответственно $t_{н} = -5,9^\circ\text{C}$ и $t_{ст.н} = -4,7^\circ\text{C}$. В этот период времени плотность теплового потока $q = 30 \text{ Вт/м}^2$, а средняя температура внутренней поверхности стены $t_{ст} = 20,2^\circ\text{C}$.

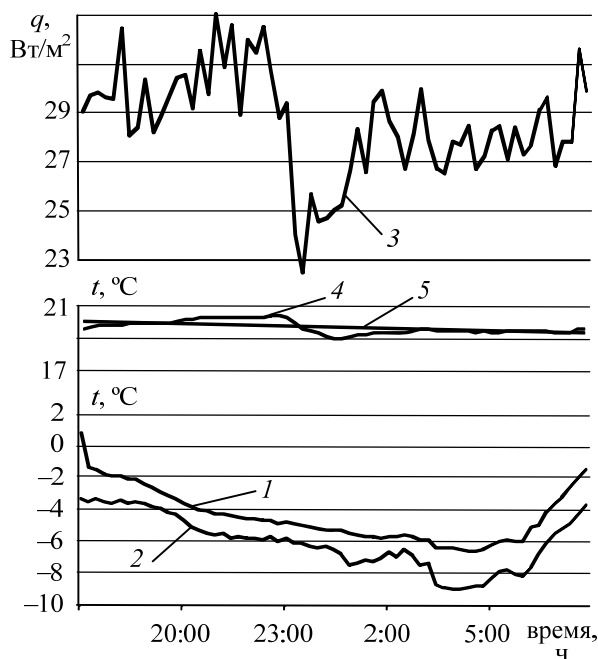


Рис. 6. Результаты замеров во второй серии опытов:
1 – температура наружной поверхности стены;
2 – температура наружного воздуха;
3 – плотность теплового потока;
4 – температура внутренней поверхности стены;
5 – средняя температура внутренней поверхности стены

На термическое сопротивление внутренней $R_{в}$ и наружной $R_{н}$ поверхностей ограждения влияют соответствующая разность температур между воздухом и поверхностью стены и величина плотности теплового потока. Изменение температуры внутреннего воздуха на 1°C оказывает значительно большее влияние на величину теплового потока, чем аналогичное изменение температуры наружного воздуха. Фактическое термическое сопротивление теплопередаче стены составило $R = 0,99 \text{ (м}^2\cdot\text{K)/Вт}$.

Одновременно с утеплением здания на третьем этапе была проведена модернизация теплового пункта с применением погодной компенсации, что позволило регулировать тепловой поток на отопление. В здании применялось снижение температуры внутреннего воздуха на 2°C в дневное время. Поэтому изменение плотности теплового потока и температуры внутренней поверхности стены носит циклический характер (рис. 7).

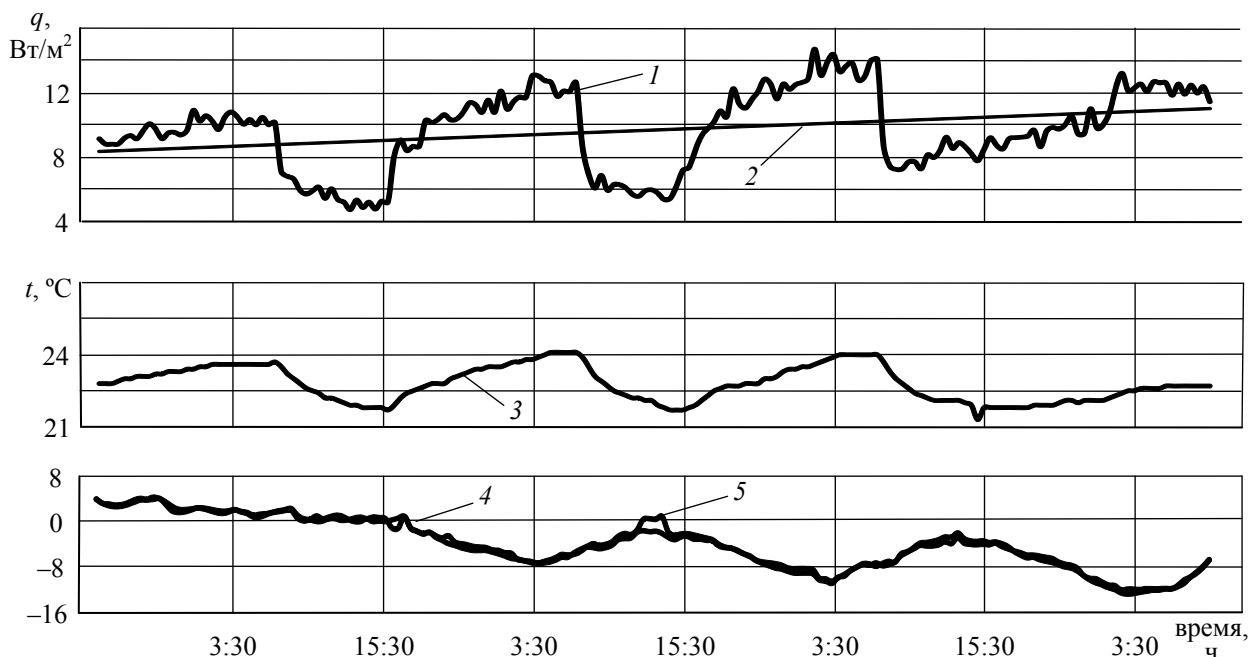


Рис. 7. Результаты замеров теплового потока после утепления стен:

- 1 – плотность теплового потока; 2 – среднее значение плотности теплового потока;
 3 – температура внутренней поверхности стены; 4 – температура наружной поверхности стены;
 5 – температура наружного воздуха

Замеры проводились в марте 2015 г. в течение трех суток. Отчетливо видно, что нагон в здании начинался в 16 ч и заканчивался в 7 ч утра. Средний тепловой поток в этот момент составлял 11–12 Вт/м², при этом температура внутренней поверхности стены возрастала с 22 до 24°C. В дневное время в часы пониженного теплоснабжения средний тепловой поток уменьшался до 6 Вт/м², при этом температура внутренней поверхности стены тоже снижалась. Среднее экспериментальное значение термического сопротивления 3,08 (м²·К)/Вт. Из рис. 7 видно, что запаздывание максимума температуры внутренней поверхности стены от максимума теплового потока составляет 1,2 ч. Следует отметить, что в случае утепления здания температура наружной поверхности стены практически совпадает с температурой наружного воздуха.

Как показывает практический опыт эксплуатации здания САФУ, более эффективно снижение температуры внутреннего воздуха $t_{в}$ в утренние и дневные часы, а повышение температуры теплоносителя – в вечернее и ночное время. Это позволяет выровнять температуру воздуха в помещении в течение суток, когда при проведении занятий и работе оборудования появляются дополнительные тепловыделения, а температура наружного воздуха $t_{н}$ днем повышается. Расчетное термическое сопротивление после утепления $R = 3,26$ (м²·К)/Вт.

По результатам проведенных экспериментов было выполнено сопоставление опытных и

расчетных значений термических сопротивлений стены до и после утепления, которые представлены на рис. 8.

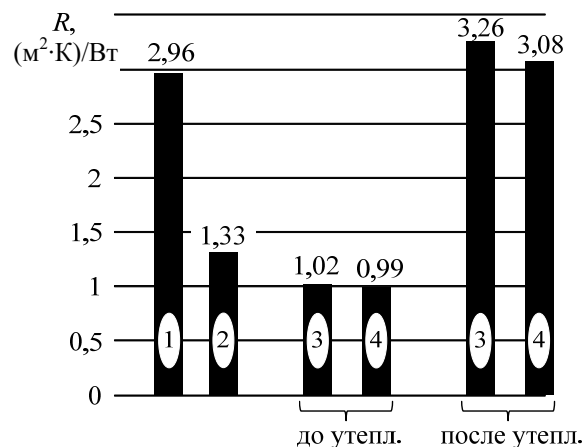


Рис. 8. Сравнение термических сопротивлений наружного ограждения:

- 1 – из условий энергосбережения;
 2 – по санитарно-гигиеническим нормам;
 3 – расчетное; 4 – фактическое

Были определены требуемые значения сопротивления стены по условиям энергосбережения $R = 2,96$ (м²·К)/Вт, санитарно-гигиеническим нормам $R = 1,33$ (м²·К)/Вт [9]. Расчетное и опытные значения термического сопротивления до утепления составили 1,02 и 0,99 (м²·К)/Вт соответственно. Они практически совпадают, но ниже требуемого из условий энергосбережения в 3 раза

и на 30% ниже определяемого санитарно-гигиеническими требованиями, что не соответствует современным условиям энергосбережения.

После утепления расчетное и опытное значения сопротивления стен лаборатории составляют 3,26 и 3,08 (м²·К)/Вт соответственно. Расхождение между ними не превышает 5,5%, что находится в пределах погрешности измерения теплового потока прибора ИТП-МГ4.03/Х(У) «ПОТОК».

Заключение. Эксперименты подтвердили сходимость расчетных и фактических значений термического сопротивления ограждающих конструкций во всех случаях инструментальных замеров. После утепления термическое сопротивление ограждения увеличилось в 3 раза. Сокращение общих тепловых потерь на 74% после полного утепления здания позволило повысить расчетный класс энергоэффективности до высокого *B*.

Литература

1. Комков В. А., Тимахова Н. С. Энергосбережение в жилищно-коммунальном хозяйстве: учеб. пособие. М.: ИНФРА-М, 2010. 320 с.
2. Тепловая защита зданий: СП 50.13330.2012. М.: Минрегион России, 2012. 139 с.
3. Проектирование тепловой защиты зданий: СП 23-101-2004. М.: ГУП ЦПП, 2004. 141 с.
4. Здания и сооружения. Метод определения сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций с помощью тепломера: ГОСТ Р 54853-2011. М.: Стандартинформ, 2012.
5. Строительная климатология. СП 131.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП 23-01-99* с изменением 2. М.: Минрегион России, 2012. 113 с.
6. Львов Е. А., Шурундина А. А. Определение фактического значения термического сопротивления ограждающих конструкций здания лаборатории // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2015: сб. материалов конференции [Электронный ресурс]. URL: <https://narfu.ru/upload/medialibrary>. Дата обращения: 05.08.2017.
7. Марьина З. Г., Верещагин А. Ю., Латышова Н. В. Экспериментальное определение термического сопротивления ограждающих конструкций // Актуальные проблемы метрологического обеспечения научно-практической деятельности: материалы Всероссийской научно-технической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. Архангельск: ИД САФУ, 2016. С. 85–91.
8. Львов Е. А. Теплозащитные характеристики ограждающих конструкций для зданий различного назначения // Ломоносовские научные чтения студентов, аспирантов и молодых ученых – 2016: сб. материалов конференции [Электронный ресурс]. URL: <https://narfu.ru/upload/medialibrary>. Дата обращения: 05.08.2017.
9. Фокин К. Ф. Строительная теплотехника ограждающих конструкций зданий; под ред. Ю. А. Табунщикова, В. Г. Гагарина. М.: АВОК-ПРЕСС, 2006. 256 с.

References

1. Komkov V. A., Timakhova N. S. *Energysberezheniye v zhilishchno-kommunal'nom khozyaystve* [Energysaving in housing and communal services]. Moscow, INFRA-M Publ., 2010. 320 p.
2. SP 50.13330.2012. Thermal protection of buildings. Moscow, Ministry of Regional Development of Russia Publ., 2012. 139 p. (In Russian).
3. SP 23-101-2004. Designing of thermal protection of buildings. Moscow, GUP CPP Publ., 2004. 141 p. (In Russian).
4. GOST 54853-201. Buildings and structures. Method for determining the resistance to heat transfer of enclosing structures using a heat meter. Moscow, Standartinform Publ., 2012 (In Russian).
5. SP 131.13330.2012. Construction climatology. Actualized edition of SNiP 23-01-99* (with Change N 2). Moscow, Ministry of Regional Development of Russia Publ., 2012. 113 p. (In Russian).
6. L'vov E. A., Shurundina A. A. [Determination of the actual value of the thermal resistance of the enclosing structures of the laboratory building]. *Sbornik materialov konferentsii («Lomonosovskiyye nauchnyye chteniya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh – 2015»)* [Collection of conference materials “Lomonosov scientific readings of students, graduate students and young scientists – 2015”]. Arkhangel'sk, 2015, pp. 589–592. Available at: <https://narfu.ru/upload/medialibrary> (accessed 05.08.2017).
7. Mar'ina Z. G., Vereshchagin A. Yu., Latyshova N. V. [Experimental determination of the thermal resistance of enclosing structures]. *Materialy Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii molodykh uchenykh, aspirantov i studentov («Aktual'nyye problemy metrologicheskogo obespecheniya nauchno-prakticheskoy deyatel'nosti»)* [Materials of the All-Russian scientific and technical conference of young scientists, graduate students and students (“Actual problems of metrological support of scientific and practical activity”)]. Arkhangel'sk, 2016, pp. 85–91 (In Russian).

8. L'vov E. A. [Thermal protection characteristics of enclosing structures for buildings of different purposes]. *Sbornik materialov konferentsii («Lomonosovskiyе nauchnyye chteniya studentov, aspirantov i molodykh uchenykh – 2016»)* [Collection of conference materials («Lomonosov scientific readings of students, graduate students and young scientists – 2016»)]. Arkhangel'sk, 2016, pp. 1760–1765 (In Russian). URL: <https://narfu.ru/upload/medialibrary> (accessed 05.08.2017).

9. Fokin K. F. *Stroitel'naya teplotekhnika ograzhdayushchikh konstruksiy zdaniy* [Building heat engineering of enclosing constructions of buildings]. Moscow, AVOK-PRESS Publ., 2006. 256 p.

Информация об авторах

Марьина Зоя Георгиевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: z.marina@narfu.ru

Верещагин Андрей Юрьевич – магистрант. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: a.vereshchagin@narfu.ru

Новожилова Анна Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры теплоэнергетики и теплотехники. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: a.novozhilova@narfu.ru

Латышова Наталья Владиславовна – магистрант. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: n.latishova@narfu.ru

Исаева Кристина Олеговна – инженер. Северный Арктический федеральный университет имени М. В. Ломоносова (163001, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, Российская Федерация). E-mail: k.isaeva@narfu.ru

Information about the authors

Mar'ina Zoya Georgievna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: z.marina@narfu.ru

Vereshchagin Andrey Ur'yevich – Master's degree student, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: a.vereshchagin@narfu.ru

Novozhilova Anna Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: a.novozhilova@narfu.ru

Latyshova Natal'ya Vladislavovna – Master's degree student, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: n.latishova@narfu.ru

Isaeva Kristina Olegovna – engineer, the Department of Heat Power Engineering and Heat Engineering. Northern Arctic Federal University named after M. V. Lomonosov (17, Northern Dvina Emb., 163001, Arkhangel'sk, Russian Federation). E-mail: k.isaeva@narfu.ru

Поступила 06.09.2017

УДК 536.25

Г. С. Сидорик

Белорусский государственный технологический университет

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ
ТЕПЛОВЫХ И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ
СМЕШАННО-КОНВЕКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА
КРУГЛОРЕБРИСТЫХ ТРУБ И ПУЧКОВ**

Разработан экспериментальный стенд для исследования свободной и смешанной конвекции, состоящий из короба, теплообменного пучка, контрольно-измерительной аппаратуры, вытяжной шахты. Проведены тарировочные опыты по теплоотдаче для калориметрических труб с различными степенями черноты. Выполнен сравнительный анализ соответствия скорости воздуха, измеренной разными способами через соответствие массовых расходов. Установлено, что присосы и утечки воздуха по длине вытяжной шахты отсутствуют, а также созданная экспериментальная установка позволяет производить надежные измерения температуры и скорости потока охлаждающего воздуха. Определена погрешность опытных данных.

Ключевые слова: конвективный теплообмен, свободная конвекция, смешанная конвекция, калориметрическая труба, трубчатый электронагреватель, вытяжная шахта, число Нуссельта, число Рейля, коэффициент теплоотдачи, степень черноты, торцевые тепловые потери, относительная погрешность.

G. S. Sidorik

Belarusian State Technological University

**THE EXPERIMENTAL STAND FOR A RESEARCH
OF THERMAL AND AERODYNAMIC PROCESSES OF MIXED CONVECTION HEAT
EXCHANGE FOR ROUND-FUNED PIPES AND BUNCHES**

The experimental stand for a research of the free and mixed convection consisting of a box, a heat exchange bunch, the control instrumentation, the exhaust mine is developed. Testing experiments on a thermolysis for calorimetric pipes with various degrees of blackness are made. The comparative analysis of compliance of the speed of air measured in the different ways through compliance of mass expenses is made. It is established that osculum and leak of air on length of the exhaust mine are absent and also the created experimental installation allows to perform reliable measurements of temperature and speed of a stream of the cooling air. The error of skilled data is defined.

Key words: convective heat exchange, free convection, the mixed convection, calorimetric pipe, the tubular electric heater, the exhaust mine, Nusselt's number, Rayleigh's number, heat-exchange coefficient, blackness degree, face thermal losses, fractional accuracy.

Введение. Во многих конвективных процессах теплообмена, кроме вызываемой градиентами температуры свободной конвекции, присутствует также внешнее течение. Чаще всего конвекцию в целом рассматривают как преимущественно свободную или преимущественно вынужденную. Однако во многих технических системах процесс конвекции не является исключительно свободным или исключительно вынужденным, а оба вида играют существенную роль. Таким образом, возникает важный вопрос, в каких случаях течение является вынужденным, в каких свободным, а в каких нельзя пренебрегать ни тем, ни другим видом течения и необходимо анализировать режим совместного действия, а именно смешанную конвекцию. Также немаловажно определить влияние одного вида конвекции на другой и их общее взаимодействие на тепловые потоки, возни-

кающие в результате объединения механизмов вынужденной и свободной конвекции [1].

Практическая реализация свободной и смешанной конвекции круглоребристых поверхностей теплообмена изучена недостаточно широко ввиду того, что долгое время в энергетике не проводились исследования в области свободно- и смешанно-конвективной теплоотдачи, так как они считались малоактуальными.

Теплоотдача при свободной конвекции изучена в широком диапазоне геометрических параметров гладкотрубных пучков [2], одиночных оребренных труб, однорядных и многорядных ребристых пучков [3–6].

Смешанно-конвективный теплообмен около вертикальных поверхностей рассматривался в работах [7–10], для оребренных труб в модели воздушного конденсатора [11], а также для аппаратов воздушного охлаждения [12].

Интерес к изучению применения свободно- и смешанно-конвективной теплоотдачи возник сравнительно недавно ввиду усиленного внимания к проблемам ресурсо- и энергосбережения. Областью применения этих процессов являются химическая и нефтехимическая промышленность, металлургия, компрессорные станции с трубопроводами, электростанции, системы охлаждения оборотной воды в установках для кондиционирования, пищевая промышленность и т. д. [13, 14]. Обширная область применения свободной и смешанной конвекции актуализирует исследования по теплоотдаче и аэродинамике трубных пучков при малых скоростях воздуха.

В настоящее время известные существующие стенды не позволяют производить надежные исследования по теплоотдаче и аэродинамике пучков при смешанной конвекции.

Аэродинамическая труба [15] состоит из рабочей части, исследуемой модели, которая крепится специальными державками к стенке рабочей части или к аэродинамическим весам; сопла, выравнивающей решетки, диффузора, компрессора (вентилятора), направляющих лопаток, обратного канала, радиатора. В аэродинамической трубе [16] рабочая часть выполнена в виде вертикального диффузора, в начале которого размещены нагреватели для воздуха, которые с целью регулирования скорости воздушного потока в рабочей части трубы монтированы с возможностью перестановки по высоте, а в качестве нагревателей применены электрические нагревательные элементы в виде секток. В данных видах труб отсутствует возможность измерения аэродинамического сопротивления для теплообменных пучков, а также возможность обеспечить подобие по числу Рейнольдса, так как пропорционально уменьшению линейного размера необходимо увеличивать плотность или скорость потока.

В аэродинамической трубе для исследования тепловым локальным моделированием оребренных труб среднего диаметра [17], представляющей собой горизонтальный канал, включающий исследуемый пучок, ртутные термометры, трубки Прандтля, термосопротивление, микроанометры, электродвигатель, вентилятор, сосуд Дьюара, потенциометр, измерительный комплект и регулятор мощности, отсутствует возможность измерения теплоотдачи и коэффициентов сопротивления для теплообменных пучков при малых скоростях потока воздуха и небольших числах Рейнольдса.

Цель работы – разработка экспериментального стенда для исследования процессов теплоотдачи и аэродинамики свободно-конвективного и смешанно-конвективного теплооб-

мена в трубных пучках при малых числах Рейнольдса.

Основная часть. Разработка экспериментального стенда. Для изучения смешанно-конвективной теплоотдачи был создан экспериментальный стенд [18], позволяющий проводить исследования по теплоотдаче и аэродинамике пучков при малых числах Рейнольдса.

Экспериментальный стенд (рис. 1) состоит из камеры размером $0,8 \times 0,8 \times 1$ м, которая использовалась для исключения влияния движения воздуха в помещении на условиях проведения эксперимента. Камера располагалась на высоте 1 м от пола на опорах и представляла собой замкнутую по периметру ширму, открытую сверху и снизу для свободного течения воздуха. Температура воздуха измерялась ртутным лабораторным термометром со шкалой $0-50^\circ\text{C}$ и ценой деления $0,1^\circ\text{C}$, расположенным в углу камеры. Ртутные шарики термометров защищены от теплового излучения пучка экранами из алюминиевой фольги. В центре камеры размещен опытный однорядный горизонтальный пучок из обогреваемых переменным электрическим током труб, при этом одна из центральных обогреваемых труб (калориметр) в каждом ряду пучка содержит средства измерения средней температуры для вычисления приведенного коэффициента теплоотдачи.

ТЭНы обогреваемых труб пучка подключались параллельно к регулируемому масляному трансформатору (модель АОМН-40-220-75). Общая мощность, подаваемая на пучок труб, измерялась ваттметром (модель Д 57 класса точности 0,1). Температура на поверхности трубы-калориметра фиксировалась с помощью пяти хромель-алюмелевых термопар, которые через переключатель подключались к вольтметру (модель GDM-78341 класса точности 0,25). Термопары были заложены у основания ребер вдоль образующей трубы по винтовой линии на половине окружности трубы, считая, что вторая половина имеет симметричное поле температур. Мощность, подводимая к трубе-калориметру, измерялась ваттметром (модель К 505 класса точности 0,5). Температура воздуха t_0 внутри камеры измерялась ртутным лабораторным термометром (с точностью $0,1^\circ\text{C}$). Общий для всех термопар холодный спай помещался в сосуд Дьюара с тающим льдом.

Для создания смешанно-конвективного течения воздуха над экспериментальным пучком устанавливалась вытяжная шахта.

При установке вытяжной шахты над пучком общее гравитационное давление пучка и шахты равно их общему аэродинамическому сопротивлению:

$$\Delta p_{п}^{гp} + \Delta p_{ш}^{гp} = \Delta p_{п}^{cop} + \Delta p_{ш}^{cop}, \quad (1)$$

где $\Delta p_{п}^{гp}$, $\Delta p_{ш}^{гp}$ – гравитационное давление пучка и шахты; $\Delta p_{п}^{cop}$, $\Delta p_{ш}^{cop}$ – аэродинамическое сопротивление пучка и шахты.

Следовательно, влияние шахты на создание смешанного режима движения воздуха определяется создаваемым ею гравитационным давлением и аэродинамическим сопротивлением. Создаваемое гравитационное давление определяется ее высотой, а аэродинамическое сопротивление – главным образом сужением. Поэтому в экспериментальном стенде устанавливались два вида шахт.

Первым видом являлась шахта с прямоугольным основанием, переходящим через конфузур в цилиндрическую трубу диаметром 0,110 м, высотой $H_{ш} = 0,52; 1,16; 1,48; 2,10$ м. Для снижения тепловых потерь шахта снаружи покрыта слоем минерального волокна толщиной 0,02–0,03 м. Схема экспериментальной ус-

тановки с данным видом шахты приведена на рис. 1, а.

Для снижения сопротивления вытяжной шахты за счет исключения влияния сужения, создаваемого конфузуром, устанавливался второй вид шахты из фанеры толщиной 0,004 м с прямоугольным основанием 0,383 × 0,313 м, высотой 0,52 м. Снаружи для снижения теплопотерь шахта покрыта слоем пенополиуретана толщиной 0,028 м и слоем минерального волокна толщиной 0,001 м. Схема экспериментальной установки с данным видом шахты приведена на рис. 1, б.

Скорость воздуха на входе в диффузор и на выходе из вытяжной шахты измерялась термоанемометром.

Для исследования влияния размера отверстия в вытяжной шахте с прямоугольным основанием на выходе устанавливались крышки с круглым отверстием различного диаметра: 0,105; 0,137; 0,160; 0,187; 0,205 м.

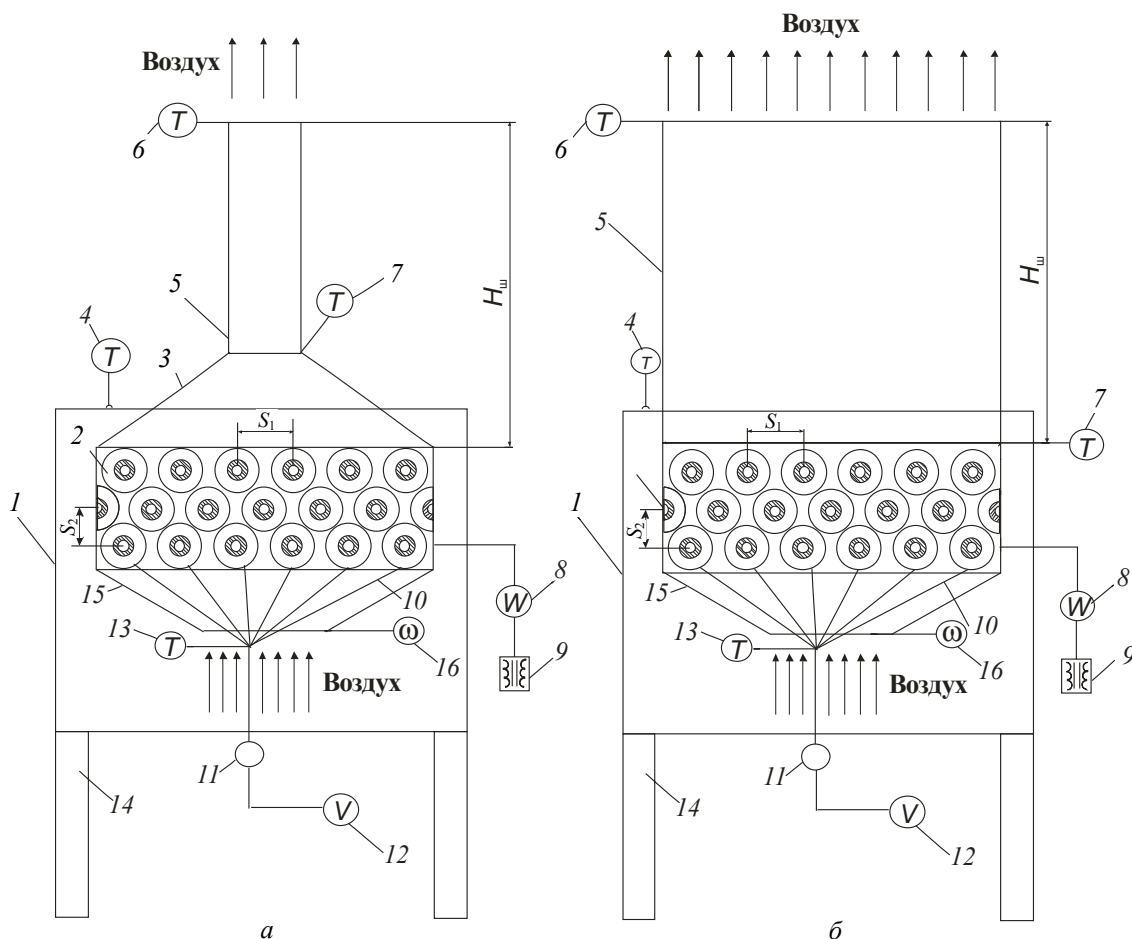


Рис. 1. Схема экспериментальной установки с вытяжной шахтой:

а – прямоугольного основания; б – с цилиндрической трубой;

- 1 – камера; 2 – оребренный горизонтальный пучок; 3 – конфузур; 4 – лабораторный термометр; 5 – вытяжная шахта; 6 – медь-константановая термопара; 7 – медь-константановая гипертермопара; 8 – ваттметр; 9 – трансформатор; 10 – хромель-алюмелевые термопары; 11 – переключатель; 12 – вольтметр; 13 – сосуд Дьюара; 14 – опоры; 15 – диффузор; 16 – термоанемометр

Крышки изготавливались из фанеры толщиной 0,01–0,015 м и для снижения теплопотерь покрывались слоем минерального волокна толщиной 0,004 м.

На рис. 2 представлена опытная модель трехрядного шахматного пучка, состоящего из биметаллических оребренных труб (пучки с другим количеством рядов имеют аналогичную конструкцию). Оребренные трубы и труба-калориметр располагались между двумя трубными досками. Трубные доски толщиной 5 мм выполнялись из термостойкой фанеры. С боковых сторон пучок ограничивался также термостойкой фанерой для предотвращения присосов воздуха по высоте пучка. Экспериментальный пучок располагался на металлических уголках.

Расположение труб в пучке характеризуется относительными шагами: $\sigma_1 = S_1 / d$, $\sigma_2 = S_2 / d$, где S_1 и S_2 соответственно поперечный и продольный шаги расположения труб в пучке, мм; d – наружный диаметр ребра трубы, мм. Каж-

дый нечетный ряд состоял из шести обогреваемых труб, четный – из пяти обогреваемых труб и по бокам устанавливались полутрубки. Центральная труба в каждом ряду являлась калориметром. На торцах труб устанавливались фторопластовые втулки для предотвращения теплопотерь.

Конструкция опытной оребренной калориметрической трубы, на которой производились все измерения, изображена на рис. 3. Биметаллическая оребренная труба крепится в трубных досках из фанеры.

Нагреватель трубы представляет изготовленный на ОАО «Минский завод тэнов» стальной ТЭН диаметром $d_{\text{ТЭН}} = 12,5$ мм, мощностью 320 Вт. Внутри ТЭНа находится спираль 4 из проволоки с высоким омическим сопротивлением и наполнитель из электротехнического периклаза марки ППЭ. Между ТЭНом и стенкой засыпался кварцевый песок дисперсным составом 0,16–0,32 мм.

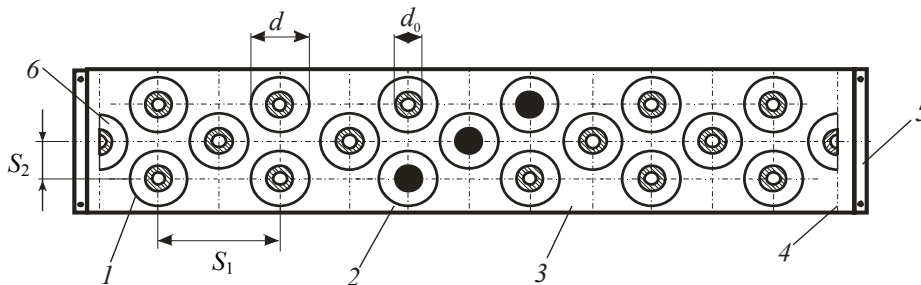


Рис. 2. Схема трехрядного экспериментального пучка

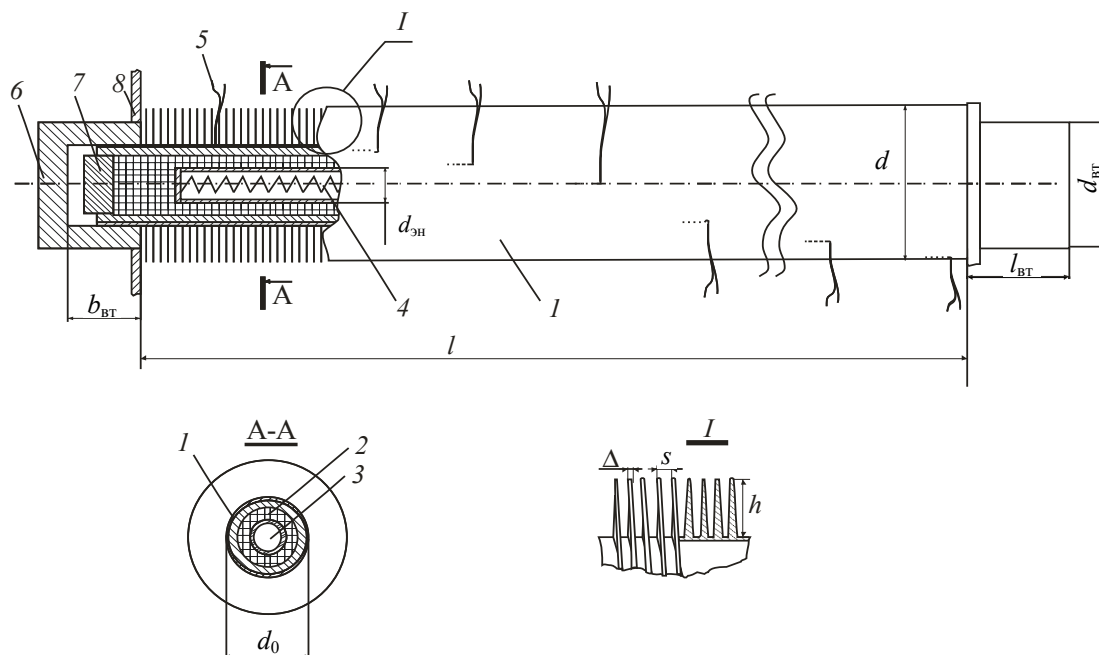


Рис. 3. Общий вид калориметрической трубы:

- 1 – биметаллическая ребристая труба; 2 – кварцевый песок;
- 3 – трубчатый электронагреватель (ТЭН); 4 – спираль ТЭНа;
- 5 – хромель-алюмелевые термопары; 6 – фторопластовая втулка;
- 7 – керамическая шайба; 8 – трубная доска из фанеры

Для измерения средней температуры поверхности калориметра у основания ребер заложено семь хромель-алюмелевых термопар вдоль образующей трубы, сдвинутых относительно друг друга на угловое расстояние 30° . Термопары были заложены у основания ребер вдоль образующей трубы по винтовой линии на половине окружности трубы, считая, что вторая половина имеет симметричное поле температур. Изолированные электроды термопар уложены в профрезерованные канавки размером $40 \times 0,8 \times 0,8$ мм в стенке накатной алюминиевой ребристой оболочки и зачеканены свинцовой пластиной заподлицо с наружной поверхностью трубы диаметром d_0 . Провода термопар имеют диаметры: хромелевый – 0,16 мм, алюмелевый – 0,12 мм. Предварительно термопары были протарированы с точностью $0,1^\circ\text{C}$.

Торцевые участки обогреваемых труб для уменьшения потерь теплоты защищены фторопластовыми втулками наружным диаметром $d_{\text{вт}} = 45$ мм, длиной $l_{\text{вт}} = 35$ мм. Проведенные ранее исследования показали [19], что суммарные торцевые потери трубы-калориметра практически линейно зависят от ЭДС. Это означает, что доля потерь теплоты от токопроводов и торцевых поверхностей втулок также имеет линейную зависимость от ЭДС.

В проводимых опытах использовались промышленные биметаллические оребренные трубы со спиральными накатными ребрами, применяемые в воздухоохлаждаемых теплообменниках. Для проведения экспериментальных исследований было изготовлено несколько идентичных по конструкции труб-калориметров со следующими параметрами: диаметр $d = 56$; диаметр трубы по основанию $d_0 = 26$; высота, шаг, средняя толщина ребра, соответственно $h = 15$; $s = 2,5$; $\Delta = 0,5$; теплоотдающая длина оребрения трубы $l = 300$; общая длина оребренной трубы $l = 330$. Коэффициент оребрения трубы составил $\phi = 21$.

Материал ребристой оболочки – алюминиевый сплав АД1М, материал несущей трубы – углеродистая сталь. Остальные трубы в опытных пучках были изготовлены из той же партии оребренных труб и имели конструкцию, идентичную трубам-калориметрам.

При исследовании конвективных потоков возникает вопрос качественного учета торцевых потерь ребристых калориметрических труб. Опыты по определению тепловых потерь были проведены в работе [20], где получена следующая зависимость:

$$Q_{\text{пот}} = -0,25764 + 0,15165 \cdot \Delta t_{\text{вт}}, \quad (2)$$

где $\Delta t_{\text{вт}}$ – потери на втулках, $^\circ\text{C}$.

Тарировочные опыты. В работе [21] были проведены тарировочные опыты по теплоотдаче для калориметрических труб с различными степенями черноты. Для гладкой трубы полученные экспериментальные данные совпали с данными М. А. Михеева [22], для оребренной трубы – с данными А. В. Самородова [19]. Экспериментально полученное согласование зависимости чисел Нуссельта от чисел Рейля указывает на достоверность разработанной методики и качественную разработку системы измерения температуры.

При исследовании теплоотдачи пучков труб скорость воздуха, проходящего через оребренный пучок, определялась несколькими способами: через тепловой баланс и термоанемометром Testo 425 с точностью $\pm (0,06 + 0,05 \cdot w)$ м/с. Был проведен сравнительный анализ соответствия скоростей, измеренных разными способами через соответствие массовых расходов (рис. 4).

Массовый расход воздуха на входе в диффузор, кг/с

$$M_{\text{вх}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{дифф}}}{4} \cdot w_{\text{вх}} \cdot \rho_0, \quad (3)$$

где $d_{\text{дифф}}$ – диаметр диффузора, м; $w_{\text{вх}}$ – скорость воздуха на входе в диффузор, м/с; ρ_0 – плотность воздуха при температуре t_0 , кг/м³.

Массовый расход воздуха на выходе из вытяжной шахты, кг/с

$$M_{\text{вых}} = \frac{\pi \cdot d_{\text{ш}}}{4} \cdot w_{\text{вых}} \cdot \rho_{\text{ш}}, \quad (4)$$

где $d_{\text{ш}}$ – диаметр вытяжной шахты, м; $w_{\text{вых}}$ – скорость воздуха на выходе из вытяжной шахты, м/с; $\rho_{\text{ш}}$ – плотность воздуха при температуре $t_{\text{ш}}$, кг/м³.

Массовый расход воздуха, проходящего через пучок, рассчитанный из теплового баланса

$$M_{\text{бал}} = V \cdot \rho_{\text{ср}}, \quad (5)$$

где $\rho_{\text{ср}}$ – плотность воздуха при средней температуре $t_{\text{ср}}$, кг/м³; V – объемный расход воздуха, м³/с, вычисляемый из теплового баланса

$$Q = n \cdot (W - Q_n) = c \cdot \rho \cdot V (t_{\text{ш}} - t_0), \quad (6)$$

где Q – теплота, подведенная к потоку воздуха, проходящего через пучок, Вт; n – число труб в пучке, шт.; c – средняя изобарная теплоемкость воздуха, Дж/(кг · К); ρ – плотность воздуха, кг/м³; $t_{\text{ш}}$ – средняя температура воздуха в шахте, $^\circ\text{C}$.

Средняя изобарная теплоемкость c и плотность ρ определялись по средней температуре воздуха в пучке $0,5 \cdot (t_{\text{ш}} + t_0)$.

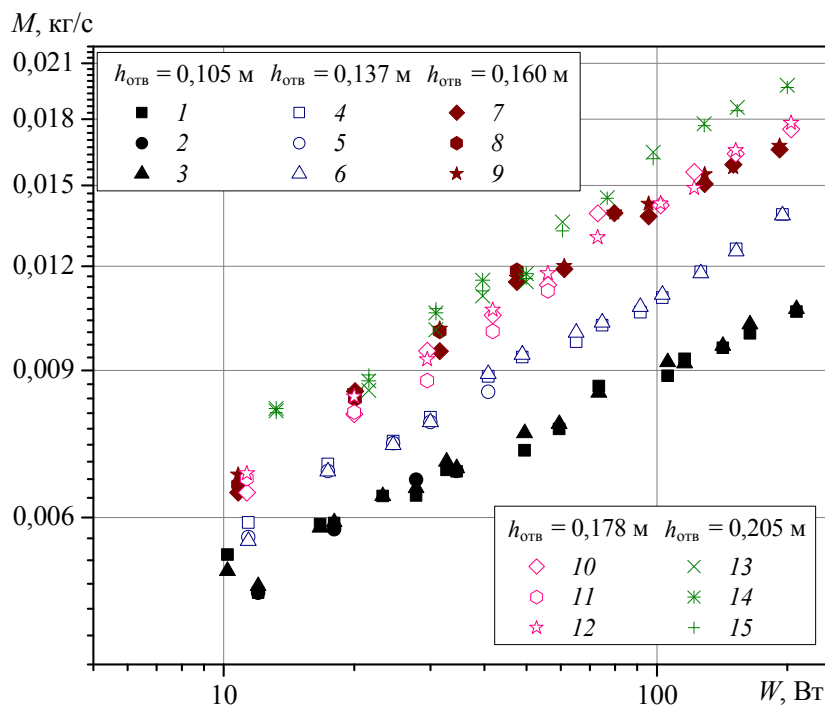


Рис. 4. Данные тарировочного опыта по определению скорости воздуха в пучке

Как видно из рис. 4, массовый расход воздуха, определяемый через тепловой баланс, соответствует массовым расходам воздуха, определяемым по измеренным термоанемометром скоростям воздуха на входе и выходе из пучка.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что присосы и утечки воздуха по длине вытяжной шахты отсутствуют, а также созданная экспериментальная установка позволяет производить надежные измерения температуры и скорости потока охлаждающего воздуха.

Определение погрешности экспериментальных исследований. При проведении экспериментальных исследований важным показателем становится их точность, которая представляет собой ту степень близости итогов измерения к некоторому действительному значению, которая используется для качественного сравнения измерительных операций. А в качестве количественной оценки, как правило, используется относительная погрешность измерений.

Числа подобия Nu , Gr и Re , в которых представляются результаты экспериментов, вычисляются исходя из измеряемых величин: потребляемой трубами-калориметрами мощность, показаний термопар, показаний температуры окружающего воздуха. Определяемые числа подобия являются функциями нескольких аргументов: $Nu = f(\alpha_k, d_0, \lambda)$, $Gr = f(\beta, d_0, t_0, t_{ct}, v)$, $Re = f(d_0, w, \nu)$, т. е. измерения являются косвенными – $y = f(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$. Согласно теории ошибок [22], погрешность эксперимента оценивается по среднеквадратичному отклонению вычисленных ве-

личин. Среднеквадратичное отклонение косвенных измерений рассчитывается по формуле [23]

$$\delta y = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i} x_i \delta x \right)^2}. \quad (7)$$

По формуле (7) можно выразить относительную среднеквадратичную погрешность чисел подобия Nu , Gr , Re через относительные погрешности величин α_k , d_0 , λ , β , t_0 , t_{ct} , v , w :

$$\delta Nu = \sqrt{(\delta \alpha_k)^2 + (\delta d_0)^2 + (\delta \lambda)^2}; \quad (8)$$

$$\delta Gr = \sqrt{(\delta \beta)^2 + (3 \cdot \delta d_0)^2 + (\delta \Delta t)^2 + (\delta v)^2}; \quad (9)$$

$$\delta Re = \sqrt{(\delta w)^2 + (\delta d_0)^2 + (\delta \nu)^2}, \quad (10)$$

где $\delta \alpha_k$, δd_0 , $\delta \lambda$, $\delta \beta$, δt_0 , δt_{ct} , δv , δw – относительные погрешности измерения коэффициента теплоотдачи, диаметра трубы, теплопроводности, коэффициента температурного расширения, температуры окружающей среды, температуры стенки трубы, коэффициента кинематической вязкости и скорости воздуха в пучке соответственно.

Расчеты относительных среднеквадратичных погрешностей промежуточных и конечных величин, входящих в зависимости для Nu , Gr и Re , выполнены по результатам эксперимента на двухрядном горизонтальном шахматном пучке из БРТ с коэффициентом оребрения $\phi = 21$ при относительных продольном и поперечном шагах $\sigma_1 = \sigma_2 = 1,021$.

Относительные среднеквадратичные погрешности параметров, зависящих от теплового режима

№	Наименование параметра	Первый ряд		Второй ряд	
		Значение параметра	Погрешность, %	Значение параметра	Погрешность, %
1	Электрическая мощность W , Вт	15	0,01	15	0,01
2	Число Gr	35023,24	0,872	51073,84	0,872
3	Число Nu	1,464	10,5	1,246	7,34
4	Число Re	263	8,04	249,92	8,04
5	Число Eu	12,644	12	12,644	12

Общая точность опытных значений Nu, Gr, Re и Eu во всем диапазоне изменения тепловой нагрузки соответственно составляет для первого ряда до 12, 1, 9, 12%, для второго ряда – до 8, 0,9, 8,1 и 12%. Меньшие значения среднеквадратичной погрешности относятся к высоким значениям Gr, а большие – к малым значениям Gr.

В таблице представлены относительные среднеквадратичные погрешности значений Nu, Gr, Re и Eu при $W = 15$ Вт.

Заключение. 1. Создан экспериментальный стенд, который позволяет проводить надежные

исследования по теплоотдаче и аэродинамике теплообменных пучков.

2. Проведенные тарировочные экспериментальные исследования показали, что стенд позволяет реализовать исследования свободно-конвективного и смешанно-конвективного теплообмена ребристых труб воздухоохлаждаемых теплообменников.

3. Общая точность опытных значений Nu, Gr, Re и Eu во всем диапазоне изменения тепловой нагрузки соответственно составляет для первого ряда до 12, 1, 9, 12%, для второго ряда – до 8, 0,9, 8,1 и 12. Погрешность эксперимента не превысила 12%.

Литература

1. Джалурия Й. Естественная конвекция. Тепло- и массообмен; пер. с англ. М.: Мир, 1983. 400 с.
2. Кунтыш В. Б., Бессонный А. Н. Примеры расчетов нестандартизированных эффективных теплообменников. СПб.: Недра, 2000. 300 с.
3. Кунтыш В. Б., Самылов А. И. Исследование теплоотдачи однорядных пучков из оребренных труб при совместном действии свободной и вынужденной конвекции воздуха // Изв. вузов. Энергетика. 1999. № 4. С. 59–68.
4. Короленко Ю. А. Теплоотдача от горизонтального пучка труб к воздуху в условиях свободной конвекции // Изв. Томского ордена трудового красного знамени политехнического института имени С. М. Кирова. 1962. № 110. С. 26–33.
5. Мачулин В. И. Теплообмен вертикального ряда труб при естественной конвекции воздуха // Холодильная техника. 1976. № 7. С. 24–25.
6. Кунтыш В. Б., Позднякова А. В., Мелехов В. И. Теплоотдача естественной конвекцией одиночного ряда вертикальных оребренных труб калориферов лесосушильных камер // Изв. вузов. Лесной журнал. 2002. № 2. С. 116–119.
7. Шевчик А. А. Совместное действие вынужденной и свободной конвекции при ламинарном течении // Труды Америк. о-ва инж.-мех. Сер. С. «Теплопередача», 1964, № 4. С. 41.
8. Merkin J. H. The effect of buoyancy forces on the boundary-layer flow over a semi-infinite vertical flat plate in a uniform free stream // Journal of Fluid Mechanics, 1969, vol. 35. P. 439–450.
9. Lloyd J. R., Sparrow E. M. Combined forced and free convection flow on vertical surface // Int. Journal Mass Transfer, 1970, vol. 13. P. 434–438.
10. Kliegel J. R. Laminar and forced convective heat transfer from a vertical flat plate, Univ. of California, 1959.
11. Мильман О. О. Экспериментальное исследование теплообмена при естественной циркуляции воздуха в модели воздушного конденсатора с вытяжной шахтой // Теплоэнергетика, 2005. № 5. С. 16–19.
12. Васильев Ю. Н., Марголин Г. А. Системы охлаждения компрессорных и нефтеперекачивающих станций. СПб.: Недра, 1977. 222 с.
13. Аппарат воздушного охлаждения: пат. 9446 Респ. Беларусь, МПК 7 F 24 F 3/00, F 28 D 1/00 / В. Б. Кунтыш, А. Б. Сухоцкий, А. Ш. Миннигалева, В. П. Мулин; заявитель УО «Белорусский Государственный Технологический Университет». № u 20130091; заявл. 31.01.2013; опубл. 30.08.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. № 9. С. 70.

14. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / под общ. ред. В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. 512 с.

15. Pankhurst R. C., Holder D. W. Wind-Tunnel Technique: An account of experimental methods in low- and high-speed wind tunnels // London, Kent, United Kingdom: Sir Isaac Pitman and sons, LTD., 1952.

16. Аэродинамическая труба малых скоростей: пат. №116563 СССР, МПК G01M 9/02 / Г. М. Львов. № 591186; заявл. 03.02.1958; опубл. 03.02.1958 // Комитет по делам изобретений и открытий при Совете Министров СССР.

17. Кунтыш В. Б., Кузнецов Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 280 с.

18. Аэродинамическая труба малых скоростей для исследования теплообменных пучков: МПК G 01M 9/02 (2006.01) / А. Б. Сухоцкий, Г. С. Сидорик; заявитель УО «Белорусский Государственный Технологический Университет». № u 20170100; заявл. 16.03.2017; опубл. 30.08.2017 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2017. № 4. С. 148.

19. Самородов А. В. Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками: автореферат дисс. ... канд. техн. наук. СПб.: СПбГТУ, 1999. 24 с.

20. Разработка стенда и исследование свободной конвекции одиночной оребренной трубы при различных углах наклона / А. Б. Сухоцкий [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесн. хоз-во, природопольз. и перераб. возоб. рес., № 1, 2017. С.169–174.

21. Сухоцкий А. Б., Сидорик Г. С. Интенсификация свободной конвекции в однорядном оребренном пучке в аппаратах воздушного охлаждения // Труды БГТУ. Сер. 2: Хим. технол., биотехн., геозкол., № 1 (193), 2017. С. 68–74.

22. Михеев М. А., Михеева И. М. Основы теплопередачи. М.: Энергия, 1977. С. 344.

23. Деденко Л. Г., Керженцев В. В. Математическая обработка и оформление результатов эксперимента; под общ. ред. А. Н. Матвеева. М.: Изд-во МГУ, 1977. 111 с.

24. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: справочник / Е. В. Аметистов [и др.]; под общ. ред. В. А. Григорьева и В. М. Зорина. М.: Энергоатомиздат, 1982. 512 с.

References

1. Jaluria Y. *Estestvennaya konvektsiya. Teplo- i massoobmen* [Natural convection. Warm and mass exchange]. Moscow, Mir Publ., 1983. 400 p.

2. Kunttysh V. B. *Primery raschetov nestandardizirovannykh effektivnykh teploobmennikov* [Examples of substandard heat exchanger's calculations]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2000. 300 p.

3. Kunttysh V. B., Samilov A. I. The study of heat transfer, single beams of ribbed-indigenous pipes under the joint action of free and forced convection air. *Izvestiya vuzov. Energetika* [Proceedings of the higher education institutions. Power engineering], 1999, no. 4, pp. 59–68 (In Russian).

4. Korolenko U. A. Heat transfer of horizontal tubes beam to air in condition of free convection. *Izv. Tomskogo trudovogo krasnogo znameni politekhnicheskogo instituta im. Kirova* [Tomsk Red Banner of Labor Polytechnic Institute named after S. M. Kirov], 1962, no. 110, pp. 26–33 (In Russian).

5. Machulin V. I. Heat transfer of a number of vertical tubes for free natural air's convection. *Kholodil'naya tekhnika* [Refrigerating engineering], 1976, no. 7, pp. 24–25 (In Russian).

6. Kunttysh V. B., Pozdnyakova A. V., Melechov V. I. Heat transfer by natural convection of a single row of vertical ribbed pipes in wood-drying kiln's calorifiers. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Proceedings of the higher education institutions. Forestry Journal], 2002, no. 2, pp. 116–119 (In Russian).

7. Shevchik A. A. Joint action of the compelled and free convection at a laminar current. *Trudy Amer. ob-va inzh.-mekh. Teploperedacha* [Works of American Society of Mechanical Engineers. Heat transfer], 1964, no. 4, series C. 41 p. (In Russian).

8. Merkin J. H. The effect of buoyancy forces on the boundary-layer flow over a semi-infinite vertical flat plate in a uniform free stream. *Journal of Fluid Mechanics*, 1969, vol. 35, pp. 439–450.

9. Lloyd J. R., Sparrow E. M. Combined forced and free convection flow on vertical surface. *Int. Journal Mass Transfer*, 1970, vol. 13, pp. 434–438.

10. Kliegel J. R. Laminar and forced convective heat transfer from a vertical flat plate, Univ. of California, 1959.

11. Mil'man O. O. Experimental research of heat transfer in condition of free convection in the air condenser models with exhaust shaft. *Teploenergetika* [Thermal Engineering], 2005, no. 5, pp. 16–19 (In Russian).

12. Vasil'yev Yu. N., Margolin G. A. *Sistemy okhlazhdeniya kompressornykh i nefteperekachivayushchikh stantsiy* [Cooling systems of compressor and oil pumping stations]. St. Petersburg, Nedra Publ., 1977. 222 p.
13. Kuntyshev V. B., Sukhotskiy A. B., Minnigaleev A. Sh., Mulin V. P. *Apparat vozdušnogo okhlazhdeniya* [Air cooler heat exchanger]. Patent BY, no. 20130091, 2013.
14. Kuntyshev V. B., Bessonni A. N. *Osnovy rascheta i proektirovaniya teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya* [Basic of calculation and design of air-cooled heat exchangers]. St. Petersburg, Nedra Publ., 1996. 512 p.
15. Pankhurst R. C., Holder D. W. *Wind-Tunnel Technique: An account of experimental methods in low- and high-speed wind tunnels*. London, Kent, United Kingdom: Sir Isaac Pitman and sons, LTD., 1952.
16. Lviv G. M. *Aerodinamicheskaya truba malykh skorostey* [Wind tunnel of small speeds]. Patent USSR, no. 116563. 1953.
17. Kuntyshev V. B., Kuznetsov N. M. *Teplovoy i aerodinamicheskiy raschet orebrennykh teploobmennikov vozdušnogo okhlazhdeniya* [Heat and aerodynamic calculations of finned heat exchangers of air cooling]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1992.
18. Sukhotskiy A. B., Sidorik G. S. *Aerodinamicheskaya truba malykh skorostey* [Wind tunnel of small speeds]. Patent BY, no. u 20170100. 2017.
19. Samorodov A. V. *Sovershenstvovaniye metodiki teplovogo rascheta i proektirovaniya apparatov vozdušnogo okhlazhdeniya s shakmatnymi puchkami: Avtoref. dis. kand. tekhn. nauk* [Perfection of a technique of thermal calculation and design of air coolers with chess ribbed beams. Abstract of thesis cand of eng. sci.]. St. Petersburg, 1999, pp. 3–22.
20. Sukhockiy A. B., Farafontov V. N., Filatov S. O., Sidorik G. S. Development of the stand and investigation of free convection of a single finned tube at different angles of inclination. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Ser. 1: Forestry, Nature Management and Processing of Renewable Resources, 2017. no. 1, pp. 169–175 (In Russian).
21. Sukhockiy A. B., Sidorik G. S. An intensification of free convection in a single-row finned bunch in air coolers. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], Ser. 2: Chemical Techn., Biotech., Geoecologist, 2017, no. 2, pp. 68–74 (In Russian).
22. Mikheev M. A., Mikheeva I. M. *Osnovy teploperedachi* [Heat transfer bases]. Moscow, MGU Publ., 1977. 111 p.
23. Ametistov E. V., Grigor'yev V. A., Emtsev B. T. *Teplo- i massoobmen. Teplotekhnicheskiy eksperiment* [Warm and mass exchange. Heattechnical experiment]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1982. 512 p.

Информация об авторе

Сидорик Галина Сергеевна – аспирант кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: galiana.sidorik@gmail.com

Information about the author

Sidorik Galina Sergeevna – PhD student, the Department of Energy-Saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: galiana.sidorik@gmail.com

Поступила 20.10.2017

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	5
Сидельник Н. Я., Пушкин А. А., Ковалевский С. В. Картирование поврежденных лесных насаждений и объектов лесохозяйственных мероприятий с использованием материалов космической съемки и ГИС-технологий.....	5
ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ.....	13
Штукин С. С., Волович П. И. Стандарт Республики Беларусь – новый уровень развития плантационного лесоводства.....	13
Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Оценка качества семенного и посадочного материала сосны обыкновенной, полученного на гибридно-семенной плантации.....	20
Якимов Н. И., Крук Н. К., Юренин А. В. Агротехника выращивания сеянцев сосны обыкновенной в условиях закрытого грунта.....	25
ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО.....	31
Козел А. В., Ларинина Ю. А., Блинцов А. И., Хвасько А. В., Крук Н. К. Влияние протравителей семян инсектицидного действия на посевные качества сосны обыкновенной.....	31
Беломесяцева Д. Б., Звягинцев В. Б., Шабашова Т. Г., Волченкова Г. А. Инвазивный компонент в составе микобиоты хвойных пород.....	37
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ.....	45
Барташевич А. А., Коробко Е. В., Билык В. А., Барташевич М. А. Оборудование для уплотнения шпона и тонкомерной древесины.....	45
Сергеевичев А. В., Онегин В. И. Анализ влияния растягивающих усилий на работоспособность шлифовальной шкурки при обработке древесины.....	49
Ignatovich L. V., Shet'ko S. V., Skrotskiy A. I. The complex and rational use of lead is in production of joiner-building wares.....	54
Антоник А. Ю., Леонович О. К. Исследование свойств термомодифицированной древесины.....	58
Чуйков А.С., Прохорчик С. А. Разработка конструкции модуля терморационной камеры для сушки лакокрасочных покрытий столярно-строительных изделий.....	64
ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА.....	71
Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б., Мулин В. П. Устройство для промышленной накатки на внутренней поверхности несущей трубы винтовых плавноочерченных выступов в биметаллической ребристой трубе.....	71
Марьина З. Г., Верещагин А. Ю., Новожилова А. В., Латышова Н. В., Исаев К. О. Повышение теплозащитных свойств ограждающих конструкций кирпичного здания САФУ.....	78
Сидорик Г. С. Экспериментальный стенд для исследования тепловых и аэродинамических процессов смешанно-конвективного теплообмена круглоребристых труб и пучков.....	85

CONTENTS

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY	5
Sidel'nik N. Ya., Pushkin A. A., Kovalevskiy S. V. Mapping of damaged forest stands and objects of forestry measures using satellite imagery and GIS-technologies	5
FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING.....	13
Shtukin S. S., Volovich P. I. Standard of the Republic of Belarus is a new development level of plantational forestry	13
Poplavskaya L. F., Rebko S. V., Tupik P. V. Estimation of quality seed and planting material harvested on hybrid-seeds plantation of <i>Pinus sylvestris</i>	20
Yakimov N. I., Kruk N. K., Yurenya A. V. Agricultural cultivation of seedlings of scots pine in a greenhouse.....	25
FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING	31
Kozel A. V., Larinina Yu. A., Khvas'ko A. V., Blintsov A. I., Kruk N. K. Influence of seed protectant of insecticidal action on seeding qualities of scots pine seeds	31
Belomesyatseva D. B., Zvyagintsev V. B., Shabashova T. G., Volchenkova G. A. Invasive species in the mycobiota of coniferous trees.....	37
WOODWORKING INDUSTRY	45
Bartashevich A. A., Korobko E. V., Bilyk V. A., Bartashevich M. A. Equipment for varnish sealing and threaded wood.....	45
Sergeevichev A. V., Onegin V.I. The analysis of influence of effort to stretching on working capacity of abrasive paper when processing wood.....	49
Ignatovich L. V., Shet'ko S. V., Skrotskiy A. I. The complex and rational use of lead is in production of joiner-building wares	54
Antonik A. Yu., Leonovich O. K. Developments of thermally modified wood.....	58
Chykov A. S., Prokhorcik S. A. Development of the construction of the module of thermoradiation chamber for drying paint-related coatings of joint-stock products.....	64
ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX	71
Kuntysh V. B., Sukhotskiy A. B., Mulin V. P. Device for an industrial rolling on the internal surface of bearing tube of screw smooth contoured ledges in a bimetallic ribbed tube.....	71
Mar'ina Z. G., Vereshchagin A. Yu., Novozhilova A. V., Latyshova N. V., Isaeva K. O. Increase of enclosing structures thermal properties of NARFU brick building.....	78
Sidorik G. S. The experimental stand for a research of thermal and aerodynamic processes of mixed convection heat exchange for round-funed pipes and bunches.....	85

Редактор *Е. И. Гоман*
Компьютерная верстка *О. Ю. Шантарович*
Корректор *Е. И. Гоман*

Подписано в печать 15.01.2018. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 11,2. Уч.-изд. л. 12,0.
Тираж 100 экз. Заказ 24.

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.