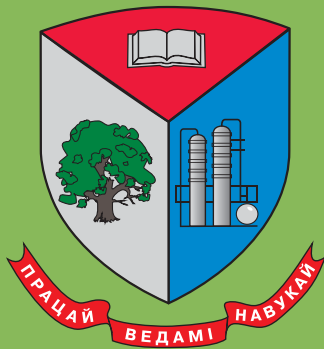


ISSN 2519-402X



ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 1 (192) 2017 год

Рубрики номера:

Управление лесами, лесоустройство
и информационные системы
в лесном хозяйстве

Лесная экология и лесоводство

Лесовосстановление и лесоразведение

Лесозащита и садово-парковое строительство

Туризм и лесохотничье хозяйство

Лесопромышленный комплекс.

Транспортно-технологические вопросы

Деревообрабатывающая промышленность

Общеинженерные вопросы
лесопромышленного комплекса

Минск 2017

Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

*Издается с июля 1993 года
Выходит два раза в год*

Серия 1

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

№ 1 (192) 2017 год

Минск 2017

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;
Неверов А. В., доктор экономических наук, профессор, Республика Беларусь;
Кулак М. И., доктор физико-математических 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;
Флюрик Е. А., кандидат биологических наук (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.
Рибко С. В., кандидат сельскохозяйственных 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 (192) 2017

Minsk 2017

Publisher – educational institution “Belarusian State Technological University”

Editor-in-Chief – Voytov Igor’ 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;

Neverov A. V., DSc (Economics), Professor, Republic of Belarus;

Kulak M. I., DSc (Physics and Mathematics), Professor, Republic of Belarus;

Narkevich I. I., DSc (Physics and Mathematics), Professor, Republic of Belarus;

Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;

Zacharuk T., DSc (Pedagogy), Professor, Republic of Poland;

Paivinen Risto, DSc, Professor, Republic of Finland;

Barčík Štefan, DSc, Professor, Slovak Republic;

Zhantasov K. T., DSc (Engineering), Professor, Republic of Kazakhstan;

Harsha Ratnaweera, DSc, Professor, Kingdom of Norway;

Rangelova E. M., DSc (Pedagogy), 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) (secretary), Republic of Belarus.

Editorial (Series):

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), Associate Professor (sub-editor), 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;

Sayevich K. F., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;

Sarnatsky V. V., DSc (Biology), Republic of Belarus;

Tebëra Albinas, DSc, Professor, Republic of Lithuania;

Usenya V. V., DSc (Agriculture), Professor, Republic of Belarus;

Korobko E. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;

Vavilov A. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;

Beer Piotr, DSc (Engineering), Professor, Republic of Poland;

Barčík Štefan, Professor, Slovak Republic;

Savelyev A. G., DSc (Engineering), Professor, Republic of Latvia;

Baltrusaitis 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.

Rebko S. V., PhD (Agriculture) (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 528.16:681.3

О. В. Кравченко

Белорусский государственный технологический университет

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ОРГАНИЗАЦИЯ СПУТНИКОВЫХ ИЗМЕРЕНИЙ ПРИ РАБОТЕ ПОД ПОЛОГОМ ДРЕВОСТОЯ

В статье рассмотрены вопросы проектирования и организации спутниковых измерений при работе под пологом древостоя. Методы проектирования и организации спутниковых измерений существенно отличаются от традиционных геодезических методов на всех этапах их проведения. Работы выполнены на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза с применением комплекта одночастотной спутниковой аппаратуры Trimble R3. Приведен порядок проектирования спутниковых измерений с учетом особенностей и нестандартных требований, предъявляемых к выбору мест расположения пунктов, на которых прежде всего должны обеспечиваться благоприятные условия наблюдения спутников. Немаловажным фактором при проектировании стала легкость доступа к пункту наблюдений, удобство расположения аппаратуры на пункте, обеспечение необходимой точности центрирования антенного блока и надежности его закрепления, обеспечение непрерывности электропитания, ведение полевого журнала. При проектировании учтен и ряд других специфических особенностей, которые могут приводить к нарушению нормального приема радиосигналов от спутников.

Описаны процессы предполевого планирования и организации спутниковых измерений одночастотными приемниками Trimble R3. При организации и проведении спутниковых наблюдений на пунктах одним из основных требований стало обеспечение одновременности работы всех GPS-приемников, участвующих в одном сеансе наблюдений.

Ключевые слова: проектирование, спутниковые измерения, GPS-приемник, геодезическая сеть, предполевое планирование, съемка.

O. V. Kravchenko

Belorussian State Technological University

DESIGN AND ORGANIZATION OF SATELLITE MEASUREMENTS UNDER THE CANOPY OF THE FOREST

In the article the questions of design and organization of satellite measurements when working under the canopy of the forest. Methods the design and organization of satellite measurements are significantly different from traditional surveying techniques in all phases of their conduct. Work performed on-site Negoreloe forestry experimental station with the use of a set of single-frequency satellite receivers Trimble R3. The way of designing satellite measurements with consideration of the peculiarities and non-standard requirements choice of location of points at which, first of all, it must be favorable conditions of observation satellites. An important factor in the design was the ease of access to the observation stations, the convenience of the location of the equipment item and required precision alignment of the antenna unit and the reliability of its fixation, ensuring continuity of supply, maintaining a field journal. The design is based on a number of other specific characteristics that can cause improper receive radio signals from satellites.

Described processes predpolagaju planning and organization of satellite measurements of the odnastolnye receivers Trimble R3. When organizing and carrying out satellite observation of the points one of the main requirements was to ensure the simultaneity of all the GPS receivers involved in a single session observations.

Key words: design, satellite measurements, GPS-receiver, geodetic network, pre-field planning, shooting.

Введение. Современный уровень ведения лесного хозяйства требует точной и достоверной топографо-геодезической информации, оперативного ее получения, автоматизации процессов сбора и навигационной привязки данных лесных измерений.

Совершенствование технологии лесоустроительных работ требует создания на землях лесного фонда опорных пунктов с применением спутниковых приемников для дальнейшего их использования при определении координат точек, оценки границ лесных площадей, создания картографических материалов.

Применение методов спутникового позиционирования позволяет оперативно решать поставленные задачи с абсолютно новым принципом сбора пространственной информации о местности.

Спутниковое позиционирование – это определение местоположения (географических координат и высоты), а также параметров движения (скорости и направления движения) для наземных, водных и воздушных объектов с помощью системы глобального позиционирования (GPS) [1].

Безусловно, применение методов спутникового позиционирования для определения координат точек земной поверхности представляет собой альтернативный подход к выполнению геодезических измерений по сравнению с традиционными наземными геодезическими методами. Такой метод имеет ряд преимуществ перед традиционными геодезическими измерениями [2]:

- исключается необходимость взаимной видимости между определяемыми пунктами;
- расстояния между определяемыми пунктами могут составлять десятки километров;
- возможны наблюдения в любую погоду как в дневное, так и в ночное время;
- измерения и обработка результатов почти полностью автоматизированы;
- возможно получение координат геодезических пунктов в реальном масштабе времени.

Однако применение методов спутникового позиционирования при работе под пологом древостоя имеет свои особенности, поскольку сам древостой является фактором, затрудняющим прохождение сигналов от спутников до GPS-приемников, что отрицательно сказывается на точности позиционирования.

Основная часть. Методы проектирования и организации спутниковых измерений существенно отличаются от традиционных геодезических методов на всех этапах их проведения.

Проектирование спутниковых измерений выполнено на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза с учетом нестандартных требований, предъявляемых к выбору мест расположения пунктов, на которых, прежде всего, должны обеспечиваться благоприятные условия наблюдения спутников. В то же время обеспечение взаимной видимости между пунктами не имеет существенного значения [1].

Учен и целый ряд других специфических особенностей при проектировании, которые могут приводить к нарушению нормального приема радиосигналов от спутников, в частности препятствия на пути прохождения сигнала от спутника до приемника.

При организации и проведении спутниковых наблюдений на пунктах одним из основных требований стало обеспечение одновременности работы всех GPS-приемников, участвующих в одном сеансе наблюдений.

Также немаловажным фактором при проектировании измерений стали легкость доступа к пункту наблюдений, удобство расположения аппаратуры на пункте, обеспечение необходимой точности центрирования антенного блока и надежности его закрепления, обеспечение непрерывности электропитания, ведение полевого журнала.

Вместе с тем конечными результатами создаваемой сети должны быть не только приращения, но и полные значения координат всех пунктов в той или иной координатной системе. Поэтому в состав сети включили два опорных пункта с заранее известными полными значениями всех трех координат.

Проведенные на местности обследования показали сохранность пунктов опорной сети лесхоза, что позволило совместить пункты проектируемой сети с плановыми и высотными пунктами ранее созданной сети на территории лесхоза. Это обусловлено также необходимостью нахождения в дальнейших исследованиях параметров перехода между геоцентрической системой координат и местной координатной системой.

С учетом вышеизложенного была запроектирована геодезическая сеть на территории Негорельского учебно-опытного лесхоза, которую можно отнести к локальным сетям. Фрагмент сети приведен на рис. 1.

Поскольку спутниковые измерения производятся на территории, покрытой лесом, то до проведения полевых измерений выполнили предполеное планирование измерений с использованием утилиты Planning программного обеспечения Trimble Geomatics Office [3].

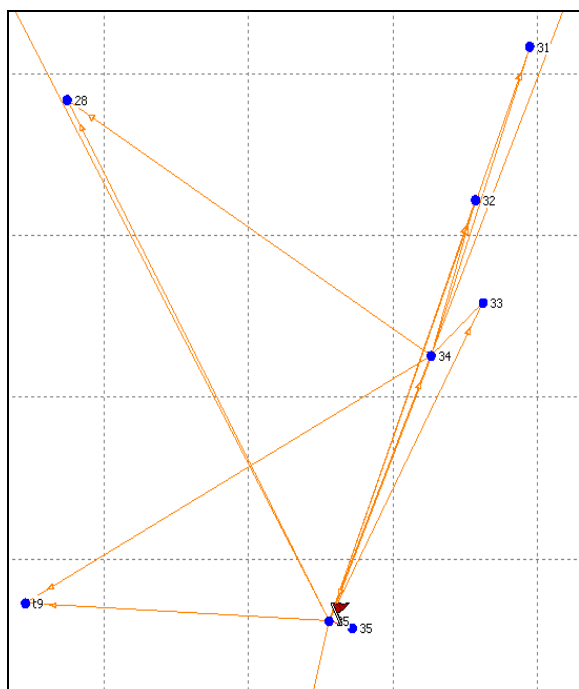


Рис. 1. Фрагмент геодезической сети

С использованием данной утилиты был получен альманах (информация о спутниках), который включает данные о спутниках, их положении, времени восхождения и нахождения в пределах «окна» наблюдений на территории полигона. С использованием этой информации были определены лучшие «окна» для полевых измерений на территории учебного полигона (рис. 2).

Одна из характерных особенностей определения местоположения точки на основе использования пространственной линейной засечки состоит в том, что результирующая точность координатных определений зависит не только от точности выполняемых дальномерных определений, но и от геометрии расположения наблюдаемых спутников. Параметр, оцениваю-

щий возрастание погрешностей измерений из-за геометрии расположения спутников, получил название «геометрический фактор» (DOP).

При помощи программного обеспечения был произведен предрасчет значения DOP перед началом спутниковых измерений на основе содержащейся в альманахе информации о расположении спутников.

На рис. 3 представлен график понижения фактора потери точности, поясняющий принцип выбора благоприятных и отбраковки неблагоприятных для измерений интервалов времени.

Организация спутниковых измерений одночастотными приемниками Trimble R3 выполнена следующим образом.

Работа станции на пункте включала такие этапы: установка и центрирование штатива, установка приемного блока на штативе, соединение блока управления с приемным блоком, включение станции и ее инициализация, запуск выбранного режима измерений после завершения инициализации.

Центрирование приемника над пунктом осуществлялось при помощи круглого уровня, расположенного на вехе. Точность центрирования инструмента – 1,0 мм. При помощи рулетки, входящей в комплект приемника, измерялась высота антенны. Данные о высоте инструмента занесены в память контроллера в поле.

Во время съемки для постобработки необходимо было собрать достаточное количество данных во время инициализации, чтобы процессор обработки базовых линий мог успешно обработать их. Для этого согласно рекомендациям время съемки в зависимости от количества наблюдаемых спутников на каждом определяемом пункте было установлено в следующих пределах:

- 30 мин при видимости 4 спутников;
- 25 мин при видимости 5 спутников;
- 20 мин при видимости 6 и более спутников.

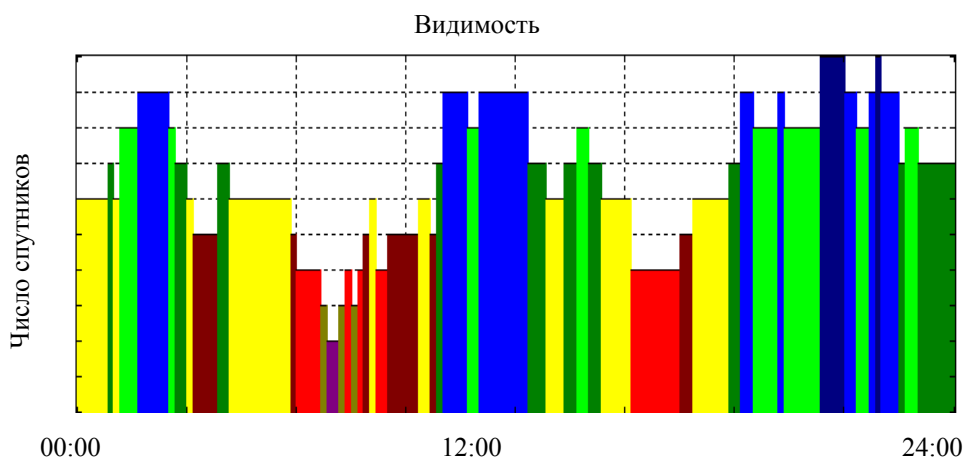


Рис. 2. Видимость спутников над территорией полигона

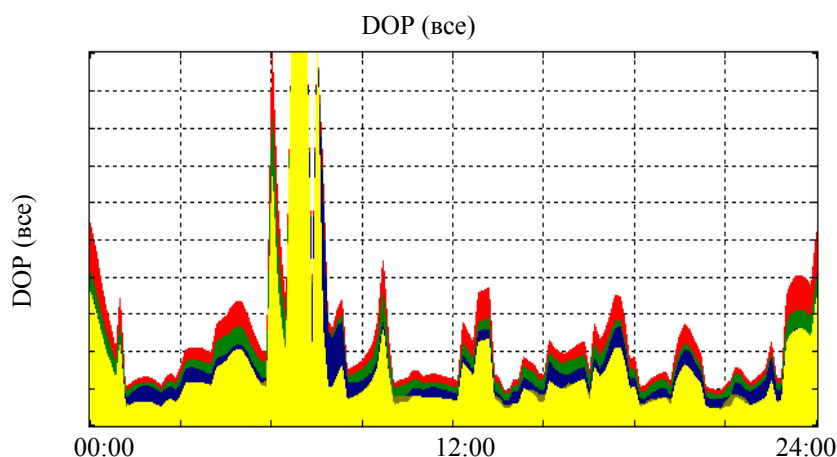


Рис. 3. Фактор потери точности

Работа выполнялась лучевым методом. Для повышения точности и надежности результатов полевых измерений в процессе постобработки было выбрано две базовые станции, которые работали постоянно в течение всего периода наблюдений. Другие станции перемещались между определяемыми пунктами согласно программе наблюдений.

Для обработки результатов спутниковых измерений, полученных с помощью спутниковых приемников Trimble R3, использовалось русифицированное программное обеспечение Trimble Geomatics Office.

Выводы. При работе одночастотными GPS-приемниками под пологом древостоя для по-

вышения точности и надежности геодезической информации необходимо на этапах планирования и организации спутниковых измерений:

- выбирать места расположения опорных точек с учетом обеспечения благоприятных условий наблюдения спутников, а при возможности и необходимости – выполнять незначительную расчистку этих мест от растительности;

- получать альманах, включающий данные о спутниках, их положении, времени восхождения и нахождения в пределах заданной территории;

- определять лучшие «окна» для спутниковых измерений.

Литература

1. Hofmann-Wellenhof B., Lichteneger H., Collins J. Global Positioning System Theory and Practice Wien: Springer-Verlag, 1997. 369 p.
2. Кравченко О. В. О точности определения координат опорных пунктов под пологом древостоя одностотной спутниковой аппаратурой Trimble R3 // Труды БГТУ. 2011. № 1: Лесное хоз-во. С. 41–43.
3. Trimble Geomatics Office. User manual / Trimble Navigation limited. Sunnyvale, CA (USA), 2001. 144 p.

References

4. Hofmann-Wellenhof B., Lichteneger H., Collins J. Global Positioning System Theory and Practice Wien: Springer-Verlag, 1997. 369 p.
1. Kravchenko O. V. On the accuracy of determination of coordinates of reference points under the canopy of the forest of odnochas-totoy satellite equipment Trimble R3. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 1: Forestry, pp. 41–43 (In Russian).
2. Trimble Geomatics Office. User manual. Sunnyvale, CA (USA), 2001. 144 p.

Информация об авторе

Кравченко Ольга Валерьевна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ov_kravchenko@belstu.by

Information about the author

Kravchenko Olga Valer'yevna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ov_kravchenko@belstu.by

Поступила 23.03.2016

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

УДК 630.231

А. М. Потапенко, В. А. Серенкова

Институт леса Национальной академии наук Беларуси

АНАЛИЗ ЕСТЕСТВЕННОГО ВОЗОБНОВЛЕНИЯ ЛЕСА В СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ ГЛХУ «ЛУНИНЕЦКИЙ ЛЕСХОЗ» ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ ПЕРВОГО ПРИЕМА РАВНОМЕРНО-ПОСТЕПЕННЫХ РУБОК

Проведены исследования лесовозобновительных процессов сосновых насаждений, пройденных первым приемом двух-трехприемных равномерно-постепенных рубок главного пользования в ГЛХУ «Лунинецкий лесхоз» (11 пробных площадей).

Выполнен анализ количественных показателей естественного возобновления леса в сосняках вересковых и черничных после проведения первого приема равномерно-постепенных рубок. В составе возобновления леса преобладает дуб черешчатый (3,9 тыс. шт./га), на части пробных площадей отмечено увеличение доли мягколиственных пород. Анализ структуры древесных пород по высоте показал, что в исследуемых насаждениях преобладает средний подрост сосны (0,5–0,9 м), березы и осины (0,7–1,5 м), крупные экземпляры дуба (2,3–5,0 м) и ольхи черной (3,9 м).

Подлесочный ярус представлен крушиной, рябиной с густотой 1,6–23,1 тыс. шт./га, средней высотой 1,8 м и проективным покрытием 39%. Для успешного естественного возобновления и увеличения сохранности сосны на участках равномерно-постепенных рубок в сосняках вересковых и черничных рекомендуется проводить меры содействия естественному возобновлению леса путем минерализации почвы бороздами, частичной посадки сосны и освобождения и опривки подроста.

Ключевые слова: сосновые насаждения, равномерно-постепенные рубки главного пользования, естественное возобновление, подлесок, живой напочвенный покров, биологическое разнообразие.

A. M. Potapenko, V. A. Serenkova

Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus

ANALYSIS OF NATURAL FOREST REGENERATION IN PINE PLANTATIONS GLHU “LUNINETSKY LESHOK” AFTER THE FIRST STEP OF THE EVEN SUCCESSIVE FINAL HARVEST IS DONE

Researches of forest renewal processes of pine plantations which have undergone the first step of two-three-step even successive final harvest in GLHU “Luninetsky Leshok” (11 trial areas) have been done.

The analysis of quantitative indices of natural forest regeneration in heather and bilberry pine forests after the first step of the even successive final harvest is done. As a part of forest regeneration the English oak (3.9 thousand pieces/hectare) prevails, on a part of trial areas the increase of the share soft-leaved species is noted. The analysis of the tree species structure in height showed that in the studied plantations the average subgrowth of the pine (0.5–0.9 m), the birch and the aspen (0.7–1.5 m), large specimens of the oak (2.3–5.0 m) and the black alder prevail (3.9 m).

The underbrushed circle dense and is presented by the buckthorn, the mountain ash with density of 1.6–23.1 thousand pieces/hectare, with an average height of 1.8 m and a projective covering of 39%. For successful natural renewal and increase in safety of the pine on sites of evenly gradual felling in heather and bilberry pine forests it is recommended to carry out measures of assistance to natural forest regeneration by soil mineralization in furrows, partial planting of the pine and release and centre mandrel of subgrowth.

Key words: pine plantations, even successive final harvest, natural forest regeneration, subgrowth, underbrush, live ground cover, biological diversity.

Введение. В составе лесов Республики Беларусь сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) выступает как основной лесообразователь, формирующий фитоценозы формации сосновых лесов. На территории Республики Беларусь к настоящему времени сосняки произрастают на площади 4128,7 тыс. га, что составляет 50,3% от покрытых лесом земель [1].

В соответствии со Стратегическим планом развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 г. [2] предусматривается увеличение долевого участия сосновой формации до 51,8%. Одним из эффективных путей формирования естественных сосняков является проведение несплошных рубок главного пользования с применением мероприятий по содействию естественному возобновлению леса. В этой связи актуальными являются исследования естественного возобновления сосны и других хозяйственно ценных древесных пород в сосновых насаждениях и разработка на этой основе предложений по повышению их устойчивости и биологического разнообразия.

Анализ объемов несплошных рубок за последние 6 лет по Министерству лесного хозяйства показал, что площадь таких рубок с 2008 по 2014 г. увеличилась в 14,5 раза (с 1,3 до 18,8 тыс. га), а за период с 2013 по 2014 г. площадь несплошных рубок по хвойному хозяйству увеличилась на 6,8 тыс. га. Наибольший удельный вес среди применяемых видов этих рубок приходится на полосно-постепенные, преимущество которых является непрерывное выращивание леса, сохранение лесной среды и биологического разнообразия [3].

Равномерно-постепенные рубки в сосновых насаждениях в лесном фонде республики составляют не более 15% от общего объема по-

степенных рубок, но в тоже время они также обеспечивают формирование естественных сосновых насаждений.

Основная часть. Объектами исследований являлись чистые и смешанные сосновые насаждения, пройденные первым приемом двух-трехприемных равномерно-постепенных рубок (РПР) главного пользования в ГЛХУ «Лунинецкий лесхоз» Брестского ГПЛХО (11 пробных площадей).

Исследования выполнялись в рамках задания ГНТП «Леса Беларуси – продуктивность, устойчивость, эффективное использование».

Оценка естественного возобновления леса осуществлялась в соответствии с ТКП 047-2009 [4]. Изучение естественного возобновления леса на каждом участке, пройденном рубкой, проводилось на трансектах площадью 50 м². На трансекте устанавливали густоту и среднюю высоту древесно-кустарниковой растительности по видам.

Подрост подразделялся по высоте на мелкий (до 0,5 м), средний (от 0,6 до 1,5 м) и крупный (более 1,5 м); по густоте на редкий (до 2 тыс. шт./га), средней густоты (2–8 тыс. шт./га), густой (8–13 тыс. шт./га) и очень густой (более 13 тыс. шт./га). Обилие и видовой состав живого напочвенного покрова определяли на 30 учетных площадках площадью 1 м².

Сосновые насаждения на участках равномерно-постепенных рубок были представлены 91–124-летними древостоями II–III классов бонитета вересковой и черничной сериями типов леса. Долевое участие сосны в составе древостоя варьировало от 50 до 100%. Полнота древостоя составляла от 0,5 до 0,9, запас – от 229 до 635 м³/га. Характеристика сосновых насаждений до рубки, по данным РУП «Белгослес», представлена в табл. 1.

Таблица 1

**Характеристика сосновых насаждений
до проведения первого приема равномерно-постепенной рубки**

№ ПП	Лесничество, квартал, выдел	Год, прием рубки	S, га	Состав	Средние			Тип леса, ТЛУ	Бонитет, полнота	Запас, м ³ /га
					A, лет	H, м	D, см			
5	Лунинецкое, 9/40	2012, I	2,5	9С1Б + Д, Ос, Олч	93	24	40	С. чер., В ₃	II, 0,7	300
13	Лунинецкое, 12/4	2011, I	2,1	5С4Д1Г + Б	124	26	44	С. чер., В ₃	II, 0,5	229
14	Лунинецкое, 7/17	2009, I	2,3	6С2Д1Б1Г	113	27	44	С. чер., В ₃	II, 0,6	321
15	Лунинецкое, 8/27	2012, I	2,6	5С2Б1Ос1Д1Г	123	26	40	С. чер., В ₃	II, 0,7	635
16	Лунинецкое, 20/48	2011, I	1,4	9С1Ос + Б, Д	91	24	32	С. чер., В ₃	II, 0,8	343
17	Лунинецкое, 23/1	2009, I	2,0	6С4Б + С, Ос	115	27	36	С. чер., В ₃	II, 0,6	244
19	Бостыньское, 70/2	2010, I	1,5	10С	110	25	28	С. чер., А ₃	II, 0,8	360
8	Бостыньское, 78/8	2013, I	0,7	9С1Б	113	22	26	С. вер., А ₂	III, 0,7	260
22	Бостыньское, 78/38	2014, I	13,0	9С1Б + Ос	114	25	28	С. чер., А ₃	II, 0,7	310
23	Бостыньское, 59/24	2012, I	16,4	9С1Б + Олч, Ос	112	25	28	С. чер., А ₃	II, 0,9	410
7	Бостыньское, 59/54	2013, I	1,8	8С2Б + Ос	113	21	24	С. вер., А ₂	III, 0,8	290

Таблица 2

Характеристика естественного возобновления леса в сосновых насаждениях, пройденных первым приемом равномерно-постепенной рубки

№ ПП	Квар-тал / выдел	Тип леса	Характеристика естественного возобновления леса										Год, прием рубки	Характеристика подлеска			
			Густота, шт./га											Итого	$H_{ср}$, м	Густота, шт./га	$H_{ср}$, м
			Дуб	Сосна	Береза	Осина	Ель	Граб	Клен	Ольха							
5	9/40	С. чер.	1 800	3 400	300	–	–	–	–	–	1 200	6 700	2,0	2014, I	20 100	1,7	
7	59/54	С. вер.	2 500	500	7 740	2 160	–	–	–	–	–	12 900	2,2	2011, I	5 600	1,7	
8	78/8	С. вер.	7 650	1 200	1 530	6 120	–	–	–	–	–	15 300	1,7	2009, I	4 800	1,3	
13	12/4	С. чер.	300	200	2 800	500	–	1 300	1 200	9 900	16 200	2,5	2012, I	9 000	1,7		
14	7/17	С. чер.	300	700	8 400	100	–	2 900	500	–	12 900	2,2	2011, I	5 600	1,9		
15	8/27	С. чер.	3 100	–	900	1 200	–	–	–	200	5 400	2,3	2009, I	3 000	2,0		
16	20/48	С. чер.	3 800	600	300	4 100	100	–	–	–	8 900	1,2	2013, I	13 300	2,5		
17	23/1	С. чер.	2 500	400	100	200	100	–	–	–	3 300	2,5	2010, I	23 100	2,2		
19	70/2	С. чер.	15 000	1 880	1 700	180	–	–	–	–	18 760	1,3	2013, I	1 600	1,3		
22	78/38	С. чер.	10 360	2 960	1 480	–	–	–	–	–	14 800	1,7	2012, I	2 100	1,9		
23	59/24	С. чер.	435	–	14 000	–	65	–	–	–	14 500	2,4	2013, I	7 900	1,8		

Равномерно-постепенные рубки на всех пробных площадях (ПП) проводились в соответствии с ТКП 143-2008 «Правила рубок леса в Республике Беларусь» [5].

Содействие естественному возобновлению леса проводилось на части пробных площадей (ПП 5, 8, 19, 22) путем минерализации почвы бороздами плугом ПКЛ-70 в агрегате с трактором МТЗ-82. В табл. 2 приведена характеристика естественного возобновления леса в сосновых насаждениях, пройденных первым приемом РПР в ГЛХУ «Лунинецкий лесхоз» Брестского ГПХО.

В 94-летнем сосняке черничном (ПП 5) до проведения первого приема двухприемной РПР насаждение имело состав 9С1Б + Д, Ос, Олч. После проведения рубки интенсивностью 40,2% полнота древостоя снизилась с 0,7 до 0,4, состав после рубки стал 9С1Б. Естественное возобновление леса представлено сосной (3,4 тыс. шт./га), дубом (1,8 тыс. шт./га), ольхой черной (1,2 тыс. шт./га) и березой (0,3 тыс. шт./га). Состав возобновления – 5С3Д2Олч + Б, средняя высота подроста составляет 2,0 м, густота – 6,7 тыс. шт./га.

При анализе структуры подроста по высоте установлено, что в исследуемом типе леса преобладает мелкий подрост сосны, высота которой составляет 0,5 м, крупные экземпляры дуба (2,3 м) и ольхи черной (3,9 м).

Подлесок густой, представлен крушиной ломкой, ивой белой и рябиной обыкновенной, средняя высота его составляет 1,7 м, густота – 20,1 тыс. шт./га, сомкнутость – 64%.

В составе травяно-кустарничкового яруса преобладает *Vaccinium myrtillus* L. (3 балла), встречаются *Pteridium aquilinum* L., *Trientalis europaea* L., *Silene latifolia* Poir., *Athyrium filix-femina* (L.) Roth ex Mert., *Vaccinium vitis-idaea* L., *Solidago virgaurea* L., *Majanthemum bifolium* L. и *Lycopodium clavatum* L. В моховом ярусе встречаются *Pleurozium schreberi* Brid. (4 балла) и *Dicranum polysetum* Sw. (редко). Для сохранения подроста сосны на участке рекомендуется проводить содействие естественному возобновлению леса – освобождение и оправку подроста путем удаления подлесочных видов.

В 91–124-летних сосняках черничных (ПП 13–17, 19, 22, 23) в 2006–2014 г. были проведены первые приемы двухприемных РПР со средней интенсивностью 36,1%.

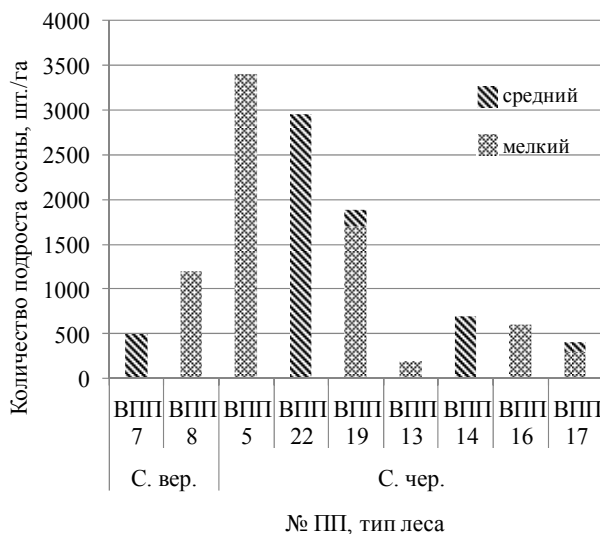
Естественное возобновление леса представлено сосной, дубом, елью, кленом, осинкой, березой и ольхой черной (табл. 2).

Состав возобновления 3–8Д1–2С2–9Б1–5Ос + Е, Кл, Г, Олч, густота – 3,3–18,8 тыс. шт./га, средняя высота подроста составляет 2,0 м. Подрост сосны преимущественно мелкий (рис.), березы и осины – средний, дуба – крупный, при этом их средняя высота составляет 0,5, 1,3–1,5 и 4,5 м соответственно.

Подлесок густой, представлен крушиной ломкой и рябиной обыкновенной, средняя высота его составляет 1,8 м, густота – 1,6–23,1 тыс. шт./га, общее проективное покрытие – 5–72%.

В составе травяно-кустарничкового яруса преобладает *Vaccinium myrtillus* L. (3–4 балла), встречаются *Vaccinium vitis-idaea* L., *Pteridium*

aquilinum L., *Poa annua* L., *Juncus effusus* L., *Hypericum perforatum* L., *Ledum palustre* L., *Stellaria holostea* L., *Convallaria majalis* L., *Majanthemum bifolium* L., *Trientalis europaea* L., *Athyrium filix-femina* (L.) Roth ex Mert. В моховом ярусе преобладает *Pleurozium schreberi* Brid. (3–4 балла) и *Dicranum polysetum* Sw. (редко – 3 балла).



Долевое участие сосны обыкновенной по категориям крупности после проведения первого приема равномерно-постепенной рубки в сосновых насаждениях

В 113-летних сосняках вересковых (ПП 7, 8) первый прием трехприемной равномерно-постепенной рубки был проведен в 2009 и 2011 гг. с интенсивностью рубки 22,9% (ПП 8) и 49,8% (ПП 7) соответственно.

Естественное возобновление леса представлено сосной, дубом, елью, осинкой, березой. Состав возобновления 2–5Д1–6Б2–4Ос + С, густота – 12,9–15,3 тыс. шт./га, средняя высота подроста составляет 2,0 м. Анализ структуры древесных видов по высоте показал, что в исследуемом типе леса преобладают средний подрост сосны, высота которой составляет 0,9 м, березы и осины (0,7–1,3 м) и крупные экземпляры дуба (2,7 м).

Подлесок густой, представлен крушиной ломкой и рябиной обыкновенной, средняя высота его составляет 1,5 м, густота – 4,8–5,6 тыс. шт./га, общее проективное покрытие – 10–38%.

В составе травяно-кустарничкового яруса выявлено 12 видов, преобладают *Calluna vulgaris* (L.) Hull (3 балла), *Pleurozium schreberi* Brid. (3 балла) и *Vaccinium vitis-idaea* L. (2–3 балла), встречаются *Trientalis europaea* L., *Vaccinium myrtillus* L., *Poa annua* L., *Hypericum perforatum* L., *Knautia arvensis* (L.) Coult., *Achillea millefolium* L., *Tanacetum vulgare* L.,

Thymus vulgaris L. и *Majanthemum bifolium* L. Моховой ярус представлен *Pleurozium schreberi* Brid. (3 балла).

Проведенные исследования показали, что естественное возобновление хозяйственно ценными породами после проведения первого приема РПР чаще всего представлено жизнеспособным подростом сосны и деревьями дуба. Необходимо также отметить, что на части пробных площадей в сосняках черничных, пройденных первым приемом равномерно-постепенной рубки, наблюдается сопутствующее естественное возобновление сосны обыкновенной. Минерализация почвы бороздами способствовала появлению самосева сосны обыкновенной. На остальной части пробных площадей без мер содействия обеспеченность естественного возобновления сосной низкая (от 0,2 до 0,7 тыс. шт./га), при этом ее долевое участие в составе подроста составляет 20–50%. В составе естественного возобновления леса также отмечается наличие дуба черешчатого (30–80%) средним возрастом 29 лет и средней густотой 3,8 тыс. шт./га, который в данных условиях не является хозяйственно ценным подростом, однако он необходим для сохранения биоразнообразия. На части пробных площадей в составе подроста отмечено увеличение долевого участия мягколиственных пород (30–70% от общего количества).

Заключение. 1. В сосновых насаждениях, пройденных первым приемом двух-трехприемных равномерно-постепенных рубок, в возобновлении леса преобладает дуб (0,3–15,0 тыс. шт./га). В состав подроста входит сосна, береза, осина, ольха черная, единично ель, клен и граб. На большинстве пробных площадей, пройденных рубками, преобладает мелкий подрост сосны. На части пробных площадей в составе подроста отмечено увеличение доли мягколиственных пород. Подлесочный ярус преимущественно густой, представлен крушиной, рябиной средней густотой 8,7 тыс. шт./га, средней высотой 1,8 м, средним общим проективным покрытием – 39%.

2. На участках РПР после проведения первого приема количество подроста сосны недостаточно для дальнейшего формирования сосновых насаждений. Естественное возобновление сосны часто затруднено из-за обильного разрастания травяно-кустарничкового яруса.

3. Для успешного естественного возобновления и увеличения сохранности сосны на участках равномерно-постепенных рубок в сосняках вересковых и черничных рекомендуется проводить меры содействия естественному возобновлению леса путем минерализации почвы бороздами, частичной посадки сосны и освождения и оправки подроста.

Литература

1. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2015 / М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь; Лесоустроит. респ. унитар. предприятие «Белгослес». Минск, 2015. 95 с.
2. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 год: утв. приказом Зам. Премьер-министра Респ. Беларусь 23.12.2014, № 06/201-271. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь. 20 с.
3. Лабоха К. В., Шиман Д. В. Постепенные рубки в сосняках Беларуси. Монография. Минск: БГТУ, 2013 г. 284 с.
4. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь: ТКП 047-2009 (02080). Взамен ТКП 047-2006; введ. 15.08.09. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2009. 105 с.
5. Правила рубок леса в Республике Беларусь: ТКП 143-2008 (02280). Введ. 01.01.09. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2013. 89 с.

References

1. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus po sostoyaniyu na 01.01.2015* [The state forest inventory of the Republic of Belarus as of 01.01.2015]. Minsk, 2015. 95 p.
2. *Strategicheskiy plan rasvitiya lesokhozyaystvennoy otrasli na period s 2015 po 2030 god, 23.12.2014, № 06/201-271* [The strategic development plan of the silvicultural branch for the period from 2015 to 2030, 23.12.2014, no. 06/201-271]. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ. 20 p.
3. Labokha K. V., Shiman D. V. *Postepennyye rubki v sosnyakakh Belarusi. Monografiya* [Successive final harvest in pine forests of Belarus. Monograph]. Minsk, BGTU Publ., 2013. 284 p.
4. ТКП 047-2009 (02080). Steady forest management and forest exploitation. Manual on reforestation and afforestation in the Republic of Belarus. Minsk, Belorusskiy gosudarstvennyy institut standartizatsii i sertifikatsii Publ., 2009. 105 p.
5. ТКП 143-2008 (02280). Rules of forest harvest in the Republic of Belarus. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2013. 89 p.

Информация об авторах

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

Серенкова Виктория Александровна – младший научный сотрудник лаборатории проблем почвоведения и реабилитации антропогенно нарушенных лесных земель. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: inna.serenkova@gmail.com

Information about the authors

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

Serenkova Victoria Aleksandrovna – Junior Researcher, Laboratory of Problems of Soil Science and Rehabilitation of Anthropogenically Disturbed Forest Lands. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: inna.serenkova@gmail.com

Поступила 29.03.2016

УДК 630*182,21:630*181.71

Л. Н. Рожков

Белорусский государственный технологический университет

**СТАРОВОЗРАСТНЫЕ СОСНЯКИ БЕЛОВЕЖСКОЙ ПУЩИ:
СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ СОХРАНЕНИЯ**

Исследована сосновая формация заповедной зоны белорусской части Беловежской пуши – объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО. Сосняки сформировались путем естественного возобновления в период примерно 1800–1940 гг. Представлены на 96,4% возрастной группой в пределах 85–220 лет. Два участка (8,5 га) имеют возраст 250 лет, один (0,7 га) – 300 и один (0,6 га) – 310 лет. Полнота сосновых древостоев снижается с их возрастом: 60–100-летние имеют полноту порядка 0,75, 120–180-летние – 0,60, 200–240-летние древостои – 0,53. В составе сосновых древостоев на 57,4% их площади присутствует ель, в том числе 3 и более единиц – 7,4%. На 21,8% площади сосняков сформировался второй ярус из ели. При этом доля сосновых древостоев с еловым ярусом возрастает с 5,4% в четвертом классе возраста до 64,7 в двенадцатом %. На 67,3% площади сосняки имеют благонадежный подрост. Прогноз сохранности сосновой формации Беловежской пуши не оптимистичен. Естественная эволюция сосновой формации приведет когда-то к элиминации соснового элемента древостоев.

Угрозой текущего дня сохранности Беловежской пуши является объективная необходимость производства санитарных рубок при периодически повторяемых массовых усыханиях еловых насаждений, вызываемых погодно-климатическими изменениями. Угрозой стратегического уровня является широкомасштабная естественная смена елью старовозрастных сосновых древостоев, распадающихся по причине высокого возраста.

Ключевые слова: Беловежская пуца, старовозрастной сосновый лес, деятельность по сохранению Всемирного наследия ЮНЕСКО.

L. N. Rozhkov

Belarusian State Technological University

**OLD-GROWTH PINE FORESTS OF THE BELOVEZHSKAYA PUSHCHA:
STATUS AND PROSPECTS FOR CONSERVATION**

Pine formation of the protected zone of the Belarusian part of the Belovezhskaya Pushcha is investigated – World Heritage site UNESCO. Pine forests were formed by natural regeneration during the period of 1800–1940. 96.4% of pines one in the age group 85–220 years. Two plots (8.5 ha) are aged 250 years, the first one (0.7 ha) is 300 and the second one (0.6 ha) is 310 years. The pine stands decrease with their ages: 60–100 years old pines have density about 0.75, 120–180 years old – 0.60, 200–240 summer forest stands – 0.53. 57.4% of pine stands territory belongs to spruce, including 3 or more units – 7.4%. 21.8% of the area of pine forests has formed the second layer of spruce. The share of pine stands with spruce layer increases from 5.4% in the fourth class and to 64.7% in the 12th class. 67.3% of the area of pine forests have the reliable undergrowth. The forecast of the security of pine formations of Belovezhskaya Pushcha is not optimistic. The natural evolution of pine formation will once lead to the elimination of a pine element of the forest.

The threat of the current day preservation of Belovezhskaya Pushcha is an objective need of the production of sanitary felling with the periodically repeated mass shrinkage of spruce forests caused by climatic estates. The threat of strategic level is a large-scale natural replacement of old pine stands with spruce, disintegrating due to high age.

Key words: Belovezhskaya Pushcha, old pine forest, the preservation of UNESCO World Heritage.

Введение. Одной из ценностей Беловежской пуши как объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО являются старовозрастные леса, среди которых преобладают сосновые древостои. Естественная сукцессия сосняков влечет за собой смену сосны елью. Ель в условиях Беловежской пуши периодически массово усыхает, что нередко вызывает необходимость производства санитарных рубок. Рубки, распад старовозрастных сосняков, невозпроизводство со-

сновой формации вызывают озабоченность международных природоохранных организаций, призывающих совершенствовать управление лесами как польской, так и белорусской частей Беловежской пуши. Оценке текущего состояния, проблемам сохранности старовозрастных сосняков ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуца» посвящена настоящая статья.

Основная часть. Из решения Комитета Всемирного наследия одним из видов «выдаю-

щейся универсальной ценности» Беловежской пушчи определены: 1) *нетронутые естественные процессы*; 2) *непрерывность и целостность охраняемого старовозрастного леса*.

Поддержание ценности 1 предполагает недопущение любых хозяйственных воздействий на заповедные леса Беловежской пушчи. По определению, «заповедно» является синонимом «запретно», в том числе отказ от борьбы с пожарами, защиты экосистемы от воздействия вредных насекомых, болезней и т. п. Поддержание ценности 1 также противоречит, по нашему мнению, выполнению ценности 2 – «сохранить старовозрастные сосновые леса Беловежской пушчи». Именно старовозрастные сосновые древостои естественного происхождения в составе единственного в Европе обширного малонарушенного лесного массива являются выдающейся ценностью Всемирного наследия. Но без активного вмешательства человека высоковозрастной сосновый древостой вечно функционировать не сможет. Биологический возраст отдельно стоящего дерева сосны может достигать и нескольких сотен лет. В условиях же примерно 160-летнего насаждения отпад сравнивается с приростом древесного запаса и даже превышает, вследствие чего сосновый древостой начинает распадаться. Сосна в силу своего светолюбия не возобновляется под пологом древостоя. В условиях естественной сукцессии, что является целью заповедной территории, сосновый древостой в конечном итоге сменяется иным древесным видом. Как исключение, отдельные сосновые древостои сохраняются до 260–300-летнего возраста.

Сосновые насаждения занимают 53,3% (28 968,6 га) заповедной зоны белорусской части Беловежской пушчи и характеризуются показателями, приведенными в таблице. Средний возраст сосновых древостоев – 140 лет, средняя полнота – 0,63, средний состав по первому ярусу – 8,4С0,93Е0,7Бб + Д, Ос, Бп, Олч, Г, Лп, Я, Кл. Более 20% сосновых насаждений являются двухъярусными. Средний состав второго яруса – 8,8Е1,2Г + С, Д, Бб, Олч, Ос, Лп, Бп, Я, Кл, средний возраст – 66 лет, средняя полнота – 0,32.

Из 5529 таксационных выделов сосны 96,4% их количества представлены возрастной группой в пределах 85–220 лет, в том числе в классах возраста: IV – 26,2%, V – 15,1, VI – 4,2, VII – 6,6, VIII – 10,1, IX – 17,0, X – 11,5 и XI – 5,7%. Два участка (8,5 га) имеют возраст 250 лет, один (0,7 га) – 300 и один (0,6 га) – 310 лет [1].

Анализ возрастной структуры сосновых насаждений заповедной зоны Беловежской пушчи позволяет сделать следующий вывод. Сосновые

насаждения заповедной зоны Беловежской пушчи образовались путем естественного возобновления в течение 140-летнего периода, ориентировочно с 1800 по 1940 г.

Полнота сосновых древостоев снижается с их возрастом: сосняки 60–100-летнего возраста имеют среднюю полноту порядка 0,75, 120–180-летнего – 0,60, 200–240-летнего – 0,53.

В лесах заповедной зоны наблюдается широкомасштабная *агрессивная «экспансия»* *Picea abies*, угрожающая сохранности сосновой формации Беловежской пушчи в условиях заповедного режима.

Ель в силу своих биолого-экологических свойств характеризуется исключительно высоким лесовозобновительным потенциалом. По нашим исследованиям, на 26% площади припевающих и спелых насаждений всех лесных формаций Беларуси формируется еловый подрост. В заповедной зоне Беловежской пушчи этот показатель значительно выше. Так, сосновые древостои на 67,3% их площади имеют благонадежный еловый подрост, в том числе высотой 3–4 м – 19,9% и высотой более 4 м – 47,2%. Как уже отмечалось, на 21,8% площади сосняков сформировался второй ярус из ели. При этом доля сосновых древостоев со вторым ярусом возрастает с 5,4% в четвертом до 64,7% в двенадцатом классе возраста. В составе сосновых древостоев на 57,4% их площади присутствует ель, в том числе 3 единицы и более – 7,4%. Прогноз сохранности сосновой формации Беловежской пушчи не оптимистичен.

Естественная эволюция сосновой формации (включая проявление болезней, вредителей, взаимоотношение древесных видов) приведет когда-то к элиминации соснового элемента древостоев. Естественное возобновление сосны при распаде старовозрастных древостоев невозможно, за исключением варианта лесного пожара. Нужны экспериментальные исследования для решения вопроса естественного возобновления старовозрастных сосняков в условиях заповедного режима. Наши исследования 67-летней сукцессии сосновых насаждений Негорельского учебно-опытного лесхоза [2] подтверждают ход естественной эволюции сосняков Беловежской пушчи.

Естественная, не контролируемая человеком в заповедной зоне, смена сосны елью способствует *усыханию ельников*. Проблема широко распространена в регионах южной границы сплошного ареала ели европейской, в том числе в Беловежской пушце. В условиях наблюдаемых погодно-климатических изменений усыхание ельников происходит с высокой периодичностью.

Таксационная характеристика сосновых древостоев ГНУ «Национальный парк «Беловежская пуца»

Класс возраста	Ярус	Площадь, га	Количество выделов	Средние		
				возраст, лет	относительная полнота	состав яруса по запасу
I	1	74,9	29	13	0,63	5,7С3,5Б60,8Е + Д, Бп, Ос, Кл
II	1	9,8	8	34	0,64	7,1С2,1Б60,8Е + Ос
III	1	279,3	80	57	0,75	8,4С1,6Б6 + Е, Ос, Д, Олч, Г, Бп, Дк
IV	1	6 369,1	1 448	76	0,76	8,7С1,3Б6 + Е, Д, Ос, Бп, Г, Олч, Лп, Кл
	2	344,8	107	48	0,32	10,0Е + Г, Д, Бб, С
V	1	3 817,1	833	92	0,70	8,5С0,9Б60,6Е + Ос, Д, Бп, Олч, Г, Кл, Лп, Олс
	2	484,0	101	45	0,33	8,5Е0,8Д0,7Г + Бб, Лп, С, Бп, Кл, Ос
VI	1	1 020,2	233	113	0,64	8,3С0,9Б60,8Е + Бп, Олч, Д, Ос, Лп, Г, Олс
	2	118,2	38	58	0,33	8,6Е1,4Г + Д, С, Бб, Бп, Ос
VII	1	2 230,0	364	136	0,63	9,0С1,0Е + Бб, Бп, Олч, Д, Ос, Г, Я, Л
	2	328,8	58	58	0,31	10,0Е + Г, Бб, Д, С, Бп, Ос
VIII	1	3 471,8	556	156	0,59	9,0С1,0Е + Бб, Д, Олч, Бп, Ос, Г, Я, Лп
	2	785,0	103	64	0,31	9,3Е0,7Г + Бб, С, Д, Кл, Ос, Олч
IX	1	5 258,1	939	176	0,57	8,8С1,2Е + Бб, Д, Олч, Ос, Бп, Г, Я, Лп, Дс, Кл
	2	1 687,7	272	67	0,32	9,2Е0,8Г + С, Бб, Д, Олч, Ос, Бп, Кл, Лп
X	1	3 838,0	634	194	0,54	8,7С1,3Е + Д, Бб, Ос, Олч, Бп, Лп, Г, Я
	2	1 423,3	208	73	0,32	8,3Е1,1Г0,6С + Бб, Д, Ос, Лп, Олч, Кл
XI	1	1 991,5	313	214	0,53	7,7С1,6Е0,7Д + Бб, Ос, Олч, Лп, Г, Бп, Дс
	2	756,1	101	76	0,32	6,7Е2,5Г0,8С + Бб, Д, Ос, Лп, Я, Олч, Бп, Кл
XII	1	599,0	88	232	0,51	7,4С1,5Е1,1Д + Бб, Г, Ос, Олч, Бп
	2	387,6	41	74	0,33	5,9Е1,3Г1,0Д + Бб, С, Лп, Олч, Ос, Кл
XIII	1	8,5	2	250	0,70	6,3С3,7Е + Д, Ос
XV	1	0,7	1	300	0,30	10,0С + Е, Д
	2	0,7	1	65	0,50	8,0Е2Ос
XVI	1	0,6	1	310	0,50	10,0С + Бб
Итого	1	28 968,6	5 529	140	0,63	8,4С0,9Е0,7Бб + Д, Ос, Бп, Олч, Г, Лп, Я, Кл
	2	6 316,2	1 030	66	0,32	8,8Е1,2Г + С, Д, Бб, Олч, Ос, Лп, Бп, Я, Кл

Сегодня Комитет Всемирного наследия обеспокоен «нарушением естественных экологических процессов» в связи с увеличением рубок в лесничествах Беловежской пуши в Польше, связанных с санитарными рубками усохших ельников. Совсем недавно это имело место в белорусской части Беловежской пуши. Усыхание ельников Беловежской пуши будет продолжаться и в последующие годы, поскольку именно елью, прежде всего, будут возобновляться распадающиеся старовозрастные сосновые, дубовые, березовые, осинные, частично черноольховые древостои. До 50–60-летнего возраста ельники достаточно устойчивы к усыханию, в более старшем возрасте вероятность их усыхания прогрессирующе возрастает.

Что делать? Стоять на позиции реализации принципа 1 – естественного развития и самовозобновления лесных сообществ? Предугадать результат естественной сукцессии трудно. В том числе с накоплением сухостойной древесины не исключается лесной пожар с последующим возобновлением гарей сосной. Равно как воз-

можно вспышка вредителей, образование очагов болезней. Решение «рубить – не рубить сухостой» за менеджером Всемирного наследия. Научного обоснования этого вопроса нет.

Наше мнение – нельзя допускать обширных пожаров и ухудшать санитарное состояние в заповедных лесах.

Заключение. Анализ состояния сохранности и прогноз эволюции объекта Всемирного наследия ЮНЕСКО «Беловежская пуца» позволяет сделать следующие выводы.

Заповедная зона территории ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуца», как и польская часть Беловежской пуши, заслуживает признания объекта Всемирного наследия, включенного в список объектов, находящихся под угрозой.

Признавая универсальную ценность Беловежской пуши, считать в качестве первичной (главной, ведущей) ценности объекта старовозрастные сосновые леса единственного в Европе обширного малонарушенного лесного массива «Беловежская пуца».

Угрозой текущего дня сохранности Беловежской пуши является объективная необходимость производства санитарных рубок при периодически повторяемых массовых усыханиях еловых насаждений, вызываемых естественными причинами, прежде всего погодно-климатическими изменениями.

Угрозой стратегического уровня сохранности главной ценности объекта Всемирного наследия «Беловежская пуша» является широко-масштабная естественная смена елью старовозрастных сосновых древостоев, распадающихся по причине высокого возраста.

Текущее состояние сосновых древостоев Беловежской пуши ниже удовлетворительного: низкая полнота древостоев, внедрение дигрес-

сивных эдификаторов (ель, граб), пониженная устойчивость, грибные заболевания.

При разработке лесоустроительного проекта (Плана ведения лесного хозяйства в Беловежской пуше) не ведется научное сопровождение ни при полевой лесной таксации, ни при проектировании мероприятий; к сожалению, на это не обращает внимание экологическая экспертиза проекта.

Следует обеспечить необходимую финансовую поддержку (грант ГЭФ) и сформировать научный коллектив в составе белорусско-польских исследователей для решения текущих и стратегических задач сохранности ценностей объекта Всемирного наследия «Беловежская пуша».

Литература

1. Проект организации и ведения лесного хозяйства ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуша» на период 2016–2025 гг. Минск: Белгослес, 2015. 217 с.
2. Рожков Л. Н. Старовозрастные сосняки: как сохранить // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. / Брянск. гос. инженерно-техн. акад. Брянск, 2015. Вып. 41. С. 71–76.

References

1. *Proyekt organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva GPU «Natsional'nyy park «Belovezhskaya pushcha» na period 2016–2025 godov* [The project of organization and conducting of forestry, state nature protection establishment «The National Park «Belovezhskaya Pushcha» for the period 2016–2025 years]. Minsk, Belgosles Publ., 2015. 217 p.
2. Rozhkov L. N. Old-growth pine forests: how to save. *Sbornik nauchnykh trudov: Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Collection of scientific papers: Actual problems of forestry complex]. Bryansk, 2015, issue 41, pp. 71–76 (In Russian).

Информация об авторе

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

Information about the author

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

Поступила 31.10.2016

УДК 630*234:630*182.2

Л. Н. Рожков¹, В. В. Бутьковец²¹Белорусский государственный технологический университет²Институт леса Национальной академии наук Беларуси**ЛЕСОВОЗОБНОВИТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ
БЕЛОРУССКОЙ ПОПУЛЯЦИИ *PICEA ABIES*
В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ**

Исследован еловый подрост 17 334 таксационных выделов общей площадью 55 775,7 га припевающих и спелых древостоев различных лесообразующих пород в типах леса и лесорастительных условиях, характерных для коренных ельников. Выборка таксационных выделов охватывает 126 лесничеств 12 лесхозов, размещенных в трех геоботанических подзонах лесного фонда Беларуси. Установлена встречаемость елового подростка в сосновых, еловых, широколиственных и мелколиственных древостоях припевающих и спелых возрастных групп в разрезе типов леса и геоботанических подзон.

Дано определение лесовозобновительного потенциала (ЛВП) и его роли для сохранения ареала ели в Беларуси. Количественную оценку ЛВП рекомендуется определять по доли припевающих и спелых древостоев разных лесообразователей в коренных для произрастания ели лесорастительных условиях, обеспеченных жизнеспособным подростом.

Установлена зависимость встречаемости елового подростка от геоботанической подзоны и лесных формаций. Сделан вывод, что в условиях нерегулируемой естественной смены пород вероятно ожидать удвоение площади еловой формации. Это свидетельствует о высоком ЛВП белорусской популяции ели европейской даже в условиях негативных изменений экологических условий в текущем периоде.

Ключевые слова: естественное возобновление леса, подрост, ель, лесовозобновительный потенциал, смена пород.

L. N. Rozhkov¹, V. V. But'kovets²¹Belarusian State Technological University²Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus**FOREST RENEWAL POTENTIAL OF THE BELARUSIAN POPULATION
PICEA ABIES UNDER CURRENT CONDITIONS**

We have studied spruce-tree subgrowth of 17,334 taxation allotments with total area of 55,775.7 ha of coming and nature forest stands of various forest forming species in the types of the forest and forest vegetation conditions which are characteristic features of native spruce site type. Selection taxation of the allotments covers 126 forest areas in 12 forestries which are situated in three geobotanical subbands of the forest fund of Belarus. Occurrence of spruce-tree subgrowth in pine, spruce-tree, broad-leaved and small-leaved forest stands of the coming and ripe age groups in a section of types of the forest and geobotanical subbands has been noted.

Definition of the forest renewal potential (FRP) and its role in preservation of spruce tree area in Belarus is given. Quantitative assessment of the FRP should be defined on shares of the coming and ripe forest stands of different forest formers in the root forest vegetation conditions for growth of a spruce-tree provided with viable subgrowth.

Dependence of spruce-tree subgrowth on a geobotanical subband and forest formations has been noted. The conclusion is that in the conditions of unregulated natural change of breeds doubling of the area of a spruce-tree formation is likely to happen. It shows the high FRP of the Belarusian population of the European spruce even under the conditions of negative changes of ecological conditions in the current period.

Key words: natural forest regeneration, subgrowth, spruce, forest renewal potential, change of breeds.

Введение. Одним из свойств популяции является ее способность к росту, в том числе к расширению занимаемой территории и увеличению своей биомассы. Если стратегия популяции проявляется в эволюционных изменениях, то ее тактика – в явлениях роста. Рост популяции зависит от величины ее биотиче-

ского потенциала и сопротивления окружающей среды.

Применительно к популяции древесного вида ее рост (ареал распространения) обусловлен величиной ЛВП и экологическими условиями области распространения на земной поверхности. Под влиянием естественных (воз-

раст древостоя) и антропогенных (вырубка) факторов условием естественного возобновления с восстановлением ареала является наличие подроста под пологом древостоя и направленность ЛВП.

В этой связи представляет научно-практический интерес исследование проявления этих факторов на примере белорусской популяции ели европейской *Picea abies* у южных границ ее ареала в условиях современных погодно-климатических и антропогенных изменений окружающей среды.

Для установления наличия и характеристик подроста ели была подвергнута анализу выборка из банка данных «Лесной фонд Республики Беларусь», составляющая 17 334 таксационных выдела общей площадью 55 775,7 га приспевающих и спелых древостоев различных лесобразующих пород. Выборка таксационных выделов охватывает 126 лесничеств, 12 лесхозов [1]. Лесхозы были выбраны в пределах различных геоботанических подзон. Так, в подзону дубово-темнохвойных лесов вошли Бегомльский, Россонский, Борисовский и Климовичский лесхозы, в подзону грабово-дубово-темнохвойных лесов – Барановичский, Бобруйский, Волковысский, Новогрудский и Стародорожский лесхозы, в подзону широколиственно-сосновых лесов – Лельчицкий, Светлогорский и Ивацевичский лесхозы (рис. 1).

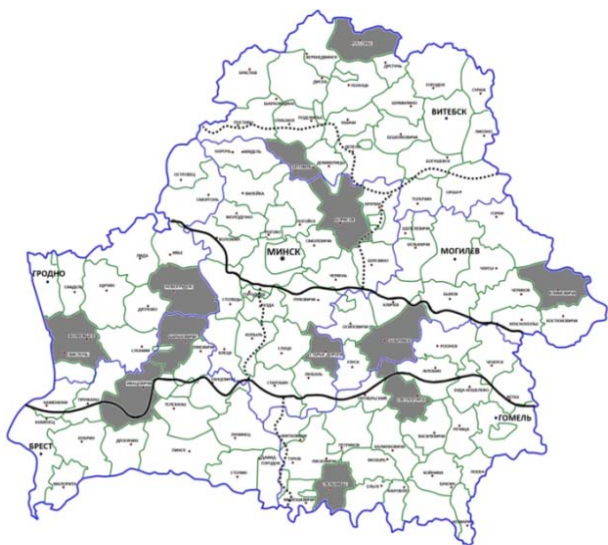


Рис. 1. Схема расположения исследуемых лесхозов в разрезе геоботанических подзон

Отличительной методической особенностью выполненного анализа явилось включение в выборку только приспевающих и спелых древостоев в наиболее распространенных типах леса *Picea abies*. В итоге подрост и второй ярус ели учитывались только в таксационных выделах следующих групп типов леса: мшистой (с

эдафотопом только В₂), брусничной, орляковой, кисличной, черничной, снытевой, крапивной, папоротниковой и приручейно-травяной. По количеству еловый подрост разделяли на три группы: до 2 тыс. шт./га, от 2 до 4 тыс. шт./га, 4 и более тыс. шт./га. Разделение подроста по крупности не производилось, так как выборка осуществлялась из лесоустроительных материалов, где весь подрост указывается как условно крупный.

Основная часть. Ель европейская – быстрорастущая порода, однако до 12–18 лет растет медленно. В связи с этим обстоятельством в первые годы жизни подрост ели оказывается в угнетенных условиях, по сравнению с подрастом более быстрорастущих мелколиственных пород. Некоторыми авторами отмечается, что по теневыносливости ель уступает лишь тису и пихте и может находить благоприятные условия для роста и развития под пологом материнского древостоя, куда проникает не более 3–5% дневного света. В то же время для нормального роста ели необходимо 70–100% полной освещенности, особенно под пологом древостоев II класса и более старшего возраста [2].

При анализе выборки было выявлено, что 52,7% анализируемых насаждений составляют сосняки, 11,3% – ельники, 1,4% – насаждения с преобладанием твердолиственных пород и 34,6% – мелколиственные насаждения (табл. 1). Такое распределение приблизительно соответствует долевого участию еловых лесов в составе лесопокрытой площади в Беларуси [3].

В среднем еловый подрост присутствует в 21,2% анализируемых насаждений. Встречаемость подрост ели значительно различается по подзонам. Так, в подзоне дубово-темнохвойных лесов еловый подрост встречается в 27,8% проанализированных выделов, в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов – в 6,7%. Встречаемость елового подрост представлена на рис. 2.

На одной пятой площади приспевающих и спелых насаждений выявлено наличие в достаточном количестве жизнеспособного подрост ели. Хорошо просматривается зональная закономерность (от 27,8% в подзоне дубово-темнохвойных лесов до 6,7% в широколиственно-сосновых). Сосновые и мелколиственные насаждения имеют еловый подрост на площадях порядка 22–30% в границах сплошного ареала произрастания ели европейской и 5–7% за его пределами. Еловые насаждения формируют еловый подрост примерно на половине занимаемых площадей в границах сплошного ареала и составляют одну четвертую островных местообитаний еловой формации.

Таблица 1

Характеристика обследованных спелых и приспевающих насаждений

Геоботаническая подзона лесов	Площадь насаждений, га					В том числе с подростом ели, га/%				
	С преобладанием сосны	С преобладанием ели	С преобладанием широколиственных пород	С преобладанием мелколиственных пород	Итого обследовано	В сосновых насаждениях	В еловых насаждениях	В широколиственных насаждениях	В мелколиственных насаждениях	Итого, среди обследованных
Дубово-темнохвойная	9 156,5	3 614,8	52,1	9 084,4	21 907,8	$\frac{2\,724,4}{29,8}$	$\frac{1\,334,0}{36,9}$	$\frac{20,1}{38,6}$	$\frac{2\,020,1}{22,2}$	$\frac{6\,098,6}{27,8}$
Грабово-дубово-темнохвойная	11 768,0	2 355,2	419,5	5 079,3	19 622,0	$\frac{2\,094,5}{17,8}$	$\frac{1\,334,5}{56,7}$	$\frac{204,0}{48,6}$	$\frac{1\,160,4}{22,8}$	$\frac{4\,793,4}{24,4}$
Широколиственно-сосновая	8 467,3	339,3	321,3	5 118,0	14 245,9	$\frac{455,6}{5,4}$	$\frac{92,5}{27,3}$	$\frac{27,8}{8,7}$	$\frac{372,3}{7,3}$	$\frac{948,2}{6,7}$
Итого	29 391,8	6 309,3	792,9	19 281,7	55 775,7	$\frac{5\,274,5}{17,9}$	$\frac{2\,761,0}{43,8}$	$\frac{251,9}{31,8}$	$\frac{3\,552,8}{18,4}$	$\frac{11\,840,2}{21,2}$

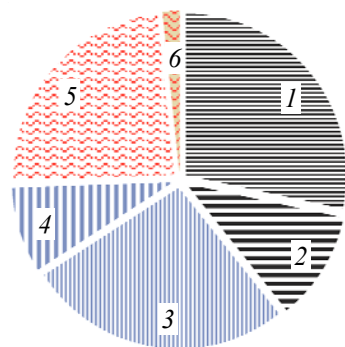
Типологическая структура елового подростка близка к таковой у обследованной части ельников (табл. 2). В частности среди приспевающих и спелых древостоев преобладают (87,0% от площади) ельники орляковые, кисличные и черничные. Среди насаждений с еловым подростом также преобладают (89,8%) орляковая, кисличная и черничная группы типов леса. Наиболее интенсивную агрессию с вектором смены преобладающей породы ель проявляет среди насаждений орляковой (34,8%) и кисличной (39,6%) групп типов леса.

В условиях нерегулируемой естественной смены пород вполне вероятно ожидать удвоение площади еловой формации (ныне занимаемая елью площадь выборки составляет 6309,3 га

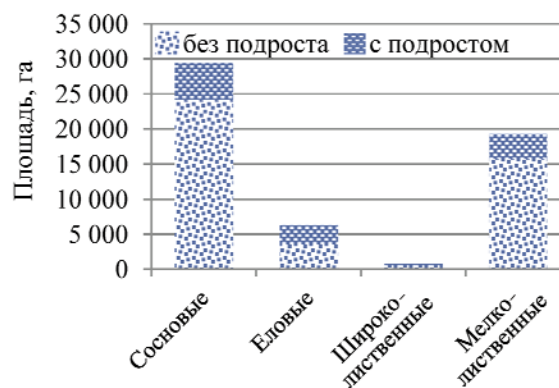
и может возрасти до 11 588,3 га). При этом не учитывается возобновление ели в сосняках мшистых с эдафотопом A_2 и других типах леса, где ель нельзя считать хозяйственно ценным древесным видом, а ее возобновление в таких условиях относится к подлеску.

Вышеуказанное свидетельствует о высоком ЛВП белорусской популяции ели европейской даже в условиях негативных для нее изменений лесорастительных условий в текущем периоде. Последние десятилетия наблюдаемые рост температур, активное осушение земель привели к понижению уровня грунтовых вод, а сейчас наблюдается повторное анаэробное заболачивание. Отмечаются массовые усыхания ельников [2].

1 – в северной подзоне без подроста;
2 – в северной подзоне с подростом;
3 – в центральной подзоне без подроста;
4 – в центральной подзоне с подростом;
5 – в южной подзоне без подроста;
6 – в южной подзоне с подростом



а



б

Рис. 2. Встречаемость елового подростка:
а – по подзонам; б – в насаждениях

Таблица 2

Типологическая структура ельников

Группы насаждений	Группы типов леса, га/%										Итого
	мш.	бр.	ор.	кис.	чер.	сн.	кр.	пап.	пр-тр.	прочие	
Обследованные при-спевающие и спелые насаждения всех пород	<u>282,9</u> 0,5	<u>133,7</u> 0,2	<u>9 409,8</u> 16,9	<u>10 875,2</u> 19,6	<u>8 893,1</u> 15,9	<u>1 439,2</u> 2,6	<u>973,8</u> 1,7	<u>2 576,6</u> 4,6	<u>863,6</u> 1,5	<u>20 327,8</u> 36,5	<u>55 775,7</u> 100,0
Обследованные при-спевающие и спелые ельники	<u>190,5</u> 3,0	<u>0</u> 0	<u>568,1</u> 9,0	<u>4 043,5</u> 64,1	<u>876,7</u> 13,9	<u>77,3</u> 1,2	<u>28,5</u> 0,5	<u>120,7</u> 1,9	<u>58,7</u> 0,9	<u>345,3</u> 5,5	<u>6 309,3</u> 100,0
Насаждения разных пород с наличием елового подроста	<u>90,5</u> 0,8	<u>21,4</u> 0,2	<u>3 279,2</u> 27,7	<u>4 555,3</u> 38,4	<u>2 814,1</u> 23,8	<u>180,3</u> 1,5	<u>223,0</u> 1,9	<u>513,4</u> 4,3	<u>164,2</u> 1,4	–	<u>11 841,4</u> 100,0

С. В. Соловьев и А. П. Сапожников [4] при оценке ЛВП рассматривают две его составляющие: количественную и качественную. Количественная оценка основана на количестве сохраненного подроста и последующего возобновления после удаления древостоя. Отмечается, что количественно высокая обеспеченность возобновления еще не является доказательством высокого ЛВП. Качественная оценка ЛВП характеризуется результатом естественного возобновления: ЛВП не реализуется, если возобновления нет; слабовыраженный ЛВП – при встречаемости возобновления 4–32% и отсутствии зарастивания; фрагментарный ЛВП – встречаемость возобновления 32–64% и абсолютный ЛВП – 64–100%.

Наши исследования не затрагивают вопрос успешности естественного возобновления не покрытых лесом земель, оставленных на естественное возобновление (лесозарастивание). Практика лесовосстановления в Беларуси ориентирована на создание лесных культур на вырубках главного пользования. Отдельные эксперименты свидетельствуют об успешности естественного возобновления ели в условиях сохранности елового подроста, проведения мер содействия и наличия обсеменителей [5].

О высоком ЛВП ели, приводящем к смене старовозрастных сосняков, свидетельствуют результаты наших наблюдений в Негорельском учебно-опытном лесхозе и ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуца».

Естественная 67-летняя сукцессия соснового массива Негорельского лесхоза площадью 216 га привела к гибели сосняков по естественным причинам на 19,7% их площади и вероятной смене елью 150–180-летних сосняков на 27,7% площади [6].

В составе сосновых древостоев 85–310-летнего возраста заповедной зоны ГПУ «Национальный парк «Беловежская пуца» на 57,4% их площади присутствует ель, в том числе 3 и более единиц – 7,4%. На 21,8% пло-

щади сосняков сформировался второй ярус из ели. При этом доля сосновых древостоев с еловым ярусом возрастает с 5,4% в четвертом до 64,7% в двенадцатом классе возраста. На 67,3% площади сосняки имеют благонадежный еловый подрост [7]. Прогноз сохранности сосновой формации Беловежской пуцы не оптимистичен. Естественная эволюция сосновой формации приведет когда-то к элиминации соснового элемента древостоев, смене сосняков ельниками.

Заключение. Успешность сохранения елю своего ареала в Беларуси обеспечивается уровнем ее ЛВП. Количественную оценку ЛВП рекомендуется определять по доли приспевающих и спелых древостоев разных лесобразователей в коренных для произрастания ели лесорастительных условиях, обеспеченных жизнеспособным еловым подростом в количестве, достаточном для успешного естественного возобновления после удаления материнского древостоя.

Встречаемость елового подроста зависит от геоботанической подзоны: в подзоне дубово-темнохвойных лесов – 27,8%, грабово-дубово-темнохвойных – 24,4%, а широколиственно-сосновых лесов – 6,7% площади приспевающих и спелых древостоев.

Сосновые и мелколиственные древостои имеют еловый подрост на площади порядка 22–30% в границах сплошного ареала произрастания *Picea abies* и 5–7% за его пределами. Еловые древостои имеют еловый подрост примерно на половине занимаемых площадей в границах сплошного и одной четверти – очагового ареала еловой формации.

В условиях нерегулируемой естественной смены пород вероятно ожидать удвоение площади еловой формации. Вышеуказанное свидетельствует о высоком ЛВП белорусской популяции ели европейской даже в условиях негативных изменений экологических условий в текущем периоде.

Литература

1. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф., Бельчина О. Г. Экологически приемлемые способы рубок и возобновления при освоении лесосечного фонда в Беларуси // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. / Брянск. гос. инженерно-техн. акад. Брянск, 2014. Вып. 39. С. 80–85.
2. Сарнацкий В. В. Ельники: формирование, повышение продуктивности и устойчивости в условиях Беларуси. Минск: Тэхналогія, 2009. 334 с.
3. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2016 / М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь; Респ. унитар. предприятие «Белгослес». Минск, 2015. 90 с.
4. Соловьев С. В., Сапожников А. П. Об оценке лесовозобновительного потенциала не покрытых лесом земель // Лесное хозяйство. 2009. № 6. С. 18–19.
5. Григорьев В. П., Ригаль А. В., Рожков Л. Н. Опыт несплошных рубок в Червенском лесхозе // Труды БТИ. Лесное хозяйство. Минск, 1993. С. 12–16.
6. Рожков Л. Н. Старовозрастные сосняки: как сохранить // Актуальные проблемы лесного комплекса: сб. науч. тр. / Брянск. гос. инженерно-техн. акад. Брянск, 2015. Вып. 41. С. 71–76.
7. Проект организации и ведения лесного хозяйства ГПУ «Национальный парк «Беловежская пушча» на период 2016–2025 гг. Минск: Белгослес, 2015. 217 с.

References

1. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F., Bel'china O. G. Environmentally acceptable methods of harvesting and renewal during the development of forest fund in Belarus. *Sbornik nauchnykh trudov: Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Collection of scientific papers: Actual problems of forestry complex]. Bryansk, 2014, issue 39, pp. 80–85 (In Russian).
2. Sarnatskiy V. V. *El'niki: formirovaniye, povysheniye produktivnosti i ustoychivosti v usloviyakh Belarusi* [Spruce plantations: creation, rise of productivity and sustainability in the conditions of Belarus]. Minsk, Tekhnalogiya Publ., 2009. 334 p.
3. *Gosudarstvennyy lesnoy kadastr Respubliki Belarus' po sostoyaniyu na 01.01.2016* [The state forest cadastre of the Republic of Belarus as of 01.01.2016]. Minsk, 2015. 90 p.
4. Solov'ev S. V., Sapozhnikov A. P. Lesopatolog on the assessment of the potential forested land. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2009, no. 6, pp. 18–19 (In Russian).
5. Grigor'yev V. P., Rigal' A. V., Rozhkov L. N. The experience of non-continuous felling of Cherven forestries. *Trudy BTI. Lesnoye khozyaystvo* [Proceedings of BТИ. Forestry]. Minsk, 1993, pp. 12–16 (In Russian).
6. Rozhkov L. N. Old-growth pine forests: how to save. *Sbornik nauchnykh trudov: Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Collection of scientific papers: Actual problems of forestry complex]. Bryansk, 2015, issue 41, pp. 71–76 (In Russian).
7. *Proyekt organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva GPU «Natsional'nyy park «Belovezhskaya pushcha» na period 2016–2025 godov* [The project of organization and conducting of forestry, state nature protection establishment «The National Park «Belovezhskaya Pushcha» for the period 2016–2025 years]. Minsk, Belgosles Publ., 2015. 217 p.

Информация об авторах

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

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

Information about the authors

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

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

Поступила 09.11.2016

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ

УДК 631.331.53-189.2

В. В. Аулин, А. А. Панков

Кировоградский национальный технический университет

ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОГО ДОЗИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Методы системы точного земледелия (СТЗ) на основе современных информационных технологий и вычислительной техники позволяют точно определить количество технологических материалов (семян, удобрений, пестицидов) при внесении в соответствии с уникальными особенностями и характеристиками каждого участка поля и в точно определенное время. Это дает возможность эффективнее использовать потенциал плодородия при снижении техногенной нагрузки на поле. Поэтому современная техника для лесного и сельского хозяйства отличается от своих предшественников возможностью изменения норм внесения «на ходу», в поточном порядке, т. е. дифференцированием рабочих параметров. Это и есть направление ее совершенствования. Однако современную ситуацию с техническим обеспечением СТЗ можно характеризовать как проблемную, когда недостаточно обозначены соответствующие конструктивные решения. Дифференцированное внесение сдерживается недостатком научных исследований и разработок, остается нерешенным вопрос создания и применения сравнительно простых, дешевых и надежных в использовании средств технической реализации предписанных поточных дифференцированных технологических воздействий. Существующие машины морально устарели и не предрасположены для дифференцированного внесения материалов, а их переоборудование сопряжено со значительными материальными и трудовыми издержками. При этом затраты на адаптацию существующих машин к требованиям СТЗ сопоставимы со стоимостью самих машин. Для устранения указанных недостатков предлагается адаптация к требованиям СТЗ дозирующих систем для технологических материалов, работающих с применением пневмоструйных элементов и устройств. При этом затраты на адаптацию значительно меньше существующих, связанных с традиционными средствами механизации.

Ключевые слова: информация, дифференцирование, пневмоника, эффективность, затраты.

V. V. Aulin, A. A. Pankov

Kirovograd National Technical University

SOFTWARE AND HARDWARE FOR DIFFERENTIAL DOSING TECHNOLOGICAL MATERIALS

Methods of SPA on the basis of modern information technologies and computing engineering allow exactly defining the amount of technological materials (seed, fertilizers, pesticides) at application, in accordance with unique features and descriptions of every area of the field, in exactly set time. It enables more effectively to use potential of fertility of soils for the substantial decline of the technogenic loading on the field. Therefore modern technique for forestry and agriculture differs from the predecessors possibility of change of norms of application "in motion", in the line order, i. e. by differentiation of operating parameters. This is the main way of perfection of agricultural technique. However modern situation with the hardware of SPA it is possible to characterize as a problem, when corresponding structural decisions are marked not enough yet. The differentiated application of technological materials restrains temper the lack of scientific research-and-developments presently, a question of creation and application comparatively of simple, cheap and reliable in the use facilities of technical realization of the prescribed line differentiated technological influences is unsolved. Existent equipment morally became antiquated and not predisposition for the differentiated line application of technological materials, thus their necessary alteration is attended with considerable technical and material costs. Thus expenses on adaptation of existent machines to technology of SPA are comparable with the cost of machines. For the removal of the indicated defects adaptation is offered to the requirements of SPA of the dosing systems, working with the use of pneumojet elements and devices. Thus expenses on adaptation of batching's devices on the basis of stream pneumoautomatics in oftentimes less than existing, related to traditional equipment of mechanization.

Key words: information, differentiation, pneumonics, efficiency, expenses.

Введение. Современные машинные технологии и технические средства для выращивания сельскохозяйственных культур достаточно совершенны и могут обеспечить выполнение агротехнических требований в соответствии с существующей концепцией уравнительного земледелия. Однако результаты исследований в области сельскохозяйственного производства (СХП) свидетельствуют о том, что развитие технологий и машин, базирующихся на этой концепции, достигли своего предела [1, 2]. В частности, за последние несколько десятков лет повышение урожайности сельскохозяйственных культур достигалось за счет резкого увеличения использования минеральных удобрений и пестицидов, а также интенсификации использования фондов. Сегодня уже очевидно, что в рамках традиционного земледелия не удастся найти кардинальные решения по экономии затрат и снижению себестоимости.

Следствиями существующей системы уравнительного земледелия являются [1]:

- экспоненциальный и непропорциональный рост затрат невозполнимой и овеществленной энергии на дополнительную единицу продукции;

- возрастающие масштабы загрязнения и разрушения окружающей среды.

Кроме того, в настоящее время рост цен на семена, минеральные удобрения, средства защиты растений, технику и другие средства производства приводит к необходимости более рационального их применения.

Поэтому современный уровень развития механизированных процессов в СХП требует поиска новых технических и технологических возможностей для повышения рентабельности растениеводства и эффективности использования техники [3, 4].

Для обеспечения повышения показателей эффективности производства сельскохозяйственной продукции и существенного снижения антропогенной нагрузки на окружающую среду необходимо внедрять новейшие методы и технические средства ведения управляемого дифференцированного земледелия с применением средств поточной адаптации машин к условиям производства [5]. Это направление особенно важно и в связи с необходимостью повышения эффективности сельскохозяйственного производства за счет повышения урожайности основных культур, так как учет неравномерности воздействия факторов земледелия дает возможность повысить урожайность сельскохозяйственных культур на 20–30% [2]. Опыт применения СТЗ с управляемым дифференцированным подходом позволяет экономить средства в раз-

мере 70–80 долл. США/га, с потенциальным увеличением в два раза [6].

Дальнейшее развитие сельскохозяйственных технологий без учета пестроты плодородия почвы в пределах каждого участка поля является нерациональным. Рациональной альтернативой концепции уравнительного земледелия может быть качественно новая стратегия интенсификации СХП, базирующаяся на дифференцированном использовании природных ресурсов, потенциала выращиваемых растений, а также различных технических факторов.

Предпосылками дифференцированного внесения технологических материалов являются различия в характеристиках участков поля (неодинаковое количество питательных веществ, различная влажность) и, как следствие, различное плодородие этих участков. Полностью устранить эти отличия агротехническими приемами невозможно, и поэтому на поле всегда будут участки с разными условиями для роста и развития растений [3].

В дифференцированном земледелии главную роль играют технические средства обеспечения технологий. При этом любое оборудование связано с программным комплексом, а следовательно, с алгоритмом решения задач и информационным обеспечением.

В настоящее время основой научно-технического прогресса является расширение объема информации, используемой при выполнении технологических процессов [7].

На базе собранного объема информации осуществляется управление механизированными процессами выращивания сельскохозяйственных культур на таких технологических операциях, как посев, внесение удобрений и пестицидов. Управление производится с учетом составленных информационных карт, что дает возможность вносить в каждую конкретную точку поля оптимальную норму технологических материалов. Технически это осуществляется автоматически, с помощью специальных технических средств в процессе работы.

Поэтому современная сельскохозяйственная техника значительно отличается от своих исторических предшественников возможностью изменения норм внесения технологических материалов «на ходу», в поточном порядке, в соответствии с условиями функционирования, т. е. дифференцированием параметров рабочих процессов. Это и есть направление совершенствования сельскохозяйственной техники [8].

Однако дифференцированное внесение сдерживается недостатком научных исследований и разработок, остается нерешенным вопрос создания и применения сравнительно простых, дешевых и надежных в использовании средств

технической реализации предписанных поточных дифференцированных агротехнологических воздействий [2], поэтому работа в данном направлении актуальна.

Необходимы дальнейшие исследования и поиск новых конструктивных решений как технических средств механизации, так и управляющих систем на основе внедрения и использования современных информационных технологий [8, 9, 10, 11].

Основная часть. В основу технической реализации СТЗ заложены системы автоматического местоопределения (САМ) перемещающихся сельскохозяйственных агрегатов и соответствующие программные средства геоинформационных систем (ГИС). По существу СТЗ – автоматизированная система, в которой технологический объект управления – это конкретный участок поля, желаемое состояние которого обеспечивается, в частности, с помощью технологического оборудования, аппаратных и программных средств автоматической обработки информации и управления [7].

Схема типового состава аппаратных средств формирования информационных потоков в СТЗ представлена на рис. 1 согласно [7].

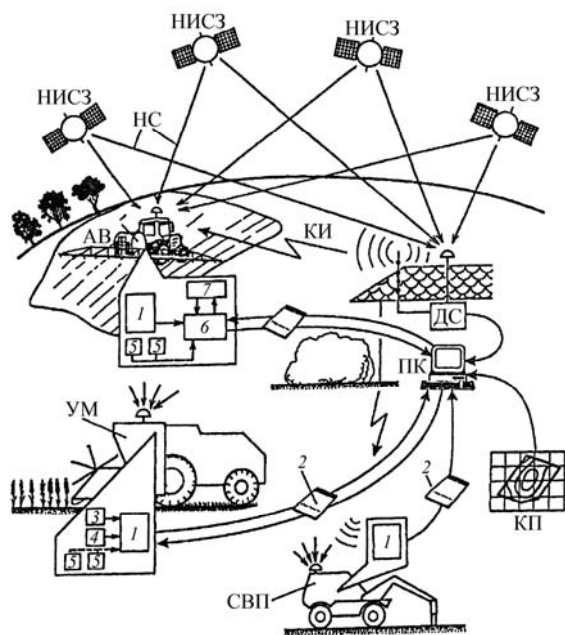


Рис. 1. Схема состава аппаратных средств СТЗ (обозначения в тексте)

Местоположение средства взятия проб (СВП) автоматически регистрируется контроллером 1, в состав которого входит САМ, содержащая навигационный приемник с накопителем данных в виде встроенного блока памяти и (или) переносимого устройства, например флеш-карты.

Места проб чаще всего намечают заранее на электронной топографической карте поля (КП),

а аппаратуру автоматического местоопределения используют для выведения СВП в заданную точку поля. При этом САМ, как правило, оснащают встроенным приемником корректирующей информации (КИ).

Координаты мест взятия проб и их идентификационные номера переносят, например, с помощью флеш-карты 2 в память персонального компьютера (ПК) СТЗ. Сюда же в дальнейшем вводятся результаты агрохимических анализов каждой из взятых проб.

В процессе работы уборочной машины (УМ), например зерноуборочного комбайна, автоматически по сигналам датчиков намолота 3 и влажности 4 зерна осуществляется измерение массы собираемого урожая наряду с одновременным определением координат фрагментов поля, с которого этот урожай получен. Возможна также регистрация сигналов других измерительных преобразователей 5 системы автоматического мониторинга режимов работы машины. Эти данные записываются как функции единого системного времени сигналов сетевых спутников радионавигационных систем (ССРНС) в память контроллера 7 и по окончании работы переносятся в ПК СТЗ, связанный с дифференциальной станцией (ДС) каналом связи, где архивируется КИ – вычисляемые ДС значения навигационных поправок – также в виде функций системного времени. С помощью КИ уточняются ранее определенные бортовой аппаратурой значения координат и скорости машины на каждый момент времени.

Далее с использованием прикладных ГИС-программ собранные географически привязанные технологические данные автоматически преобразуются на ПК в цифровые электронные многослойные карты, на которых каждому фрагменту поля ставится в соответствие количество собранного с него урожая, результаты агрохимических оценок и т. д.

На основании карт урожайности и агрохимического состояния почв, моделей развития возделываемых культур, других данных и прикладных программ выполняющий функции системного интегратора агроном СТЗ на ПК составляет технологические топоориентированные программы норм внесения удобрений и высева семян для очередного года хозяйствования на каждом поле. Затем с помощью флеш-карточек эти программы переносятся в память бортового компьютера 6 агрегата внесения (АВ). В процессе работы АВ бортовой компьютер 6, сопоставляя результаты проводимого автоматического местоопределения агрегата с введенной технологической топоориентированной программой, задает системе регулирования 7 значение нормы внесения материала

(удобрений, семян, гербицидов и т. д.), адресно-предписанное для того фрагмента поля, на котором в данный момент находится агрегат. Но если на УМ задача местоопределения может решаться только частично с последующим ее завершением в офисных условиях, то на АВ она должна решаться в реальном масштабе времени, т. е. поточно. Поэтому на АВ в состав САМ обязательно включается приемник КИ для принятия данных ДС.

При оснащении сельскохозяйственных агрегатов аппаратурой передачи данных работы бортовых САМ возможно отображение их перемещения в реальном масштабе времени на электронной карте полей в диспетчерском пункте хозяйства.

Для анализа, планирования и оперативного управления производством в целом, информация в СТЗ может быть представлена в удобном для системного агронома виде: в качестве электронных таблиц, диаграмм, изолиний, мозаичной или трехмерной картины рельефа поля, распределения урожая и т. д.

При работе в СТЗ должны применяться информационно совместимые агрегаты, т. е. имеющие в своем составе автоматические системы мониторинга функционирования с накопителями данных и автоматические управляющие системы, изменение настройки которых задается программно, в поточном порядке.

То есть для реализации дифференцированного внесения технологических материалов соответствующие машины должны иметь высокоадаптивные дозирующие и распределяющие рабочие органы, управляемые автоматизированно в соответствии с оптимальной программой применения материалов, реализованной в виде электронной карты. Все машины должны быть оборудованы средствами для ориентации в системе позиционирования и обеспечивать независимое регулирование доз в пределах ширины захвата [1].

Однако анализ существующих машин и обзор литературных источников показывает, что большинство существующих технических средств морально устарели [12, 13] и не predisпожены для дифференцированного поточного внесения технологических материалов, причем необходимое их переоборудование сопряжено со значительными техническими и материальными издержками.

Также далеко не все модели машин поддаются оснащению соответствующим оборудованием. Наиболее серьезная проблема для небольших хозяйств, работающих на полях общей площадью менее 1 тыс. га, в том, что невозможно использовать для дифференцированного внесения удобрений имеющуюся технику,

которую в большинстве случаев нельзя модернизировать [14].

Рассмотрим существующие варианты машинной реализации поточного дифференцированного внесения технологических материалов (посевого материала и удобрений).

Главной отличительной чертой существующих машин, адаптированных к работе в СТЗ, является то, что опорное колесо посевной машины теряет функцию механического привода катушечных высевающих аппаратов. Функции регулирования нормы высева передаются датчикам 6, 7, 8 (рис. 2), которые анализируют состояние почвы и подают в режиме реального времени на обработку информацию о необходимой в данный момент для данного участка поля норме внесения материалов [7].

Процессор в соответствии с заложенным программным обеспечением обрабатывает управляющий сигнал, который передается на исполнительное устройство 2, представляющее собой электрический мотор-редуктор, например, шагового типа. В этом случае опорное колесо посевной машины выполняет функции генератора импульсов скорости перемещения посевной машины и пройденного пути.

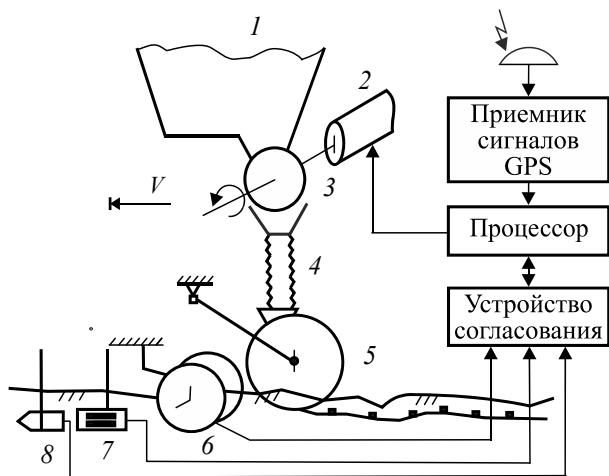


Рис. 2. Схема дифференцированного внесения технологических материалов на основе поточной регулировки катушечных высевающих аппаратов:

- 1 – емкость для материалов;
- 2 – исполнительное устройство;
- 3 – высевающий аппарат;
- 4 – семяпровод; 5 – сошник; 6, 7, 8 – датчики физико-технологического состояния участка поля

Одним из способов реализации схемы на рис. 2 является устройство для посева с переменной нормой [15], включающее высевающую катушку, установленную на высевающем валу с механизмом его перемещения при помощи винтовой передачи. Для изменения нормы высева в зависимости от внешних условий уст-

ройство оборудовано сверхвысокочастотным влагомером, блоком автоматической установки нормы высева и электрически связанным с его входом датчиком длины рабочей части высевающей катушки, а механизм перемещения высевающего вала оснащен промежуточным валом с кулачковой муфтой, второй винтовой передачей и реверсивным электродвигателем.

Аналогичные решения для катушечных высевающих аппаратов рассмотрены в описаниях патентов на полезную модель [16, 17].

На рис. 3 представлена машина МВД-900 для внесения твердых минеральных удобрений [4].

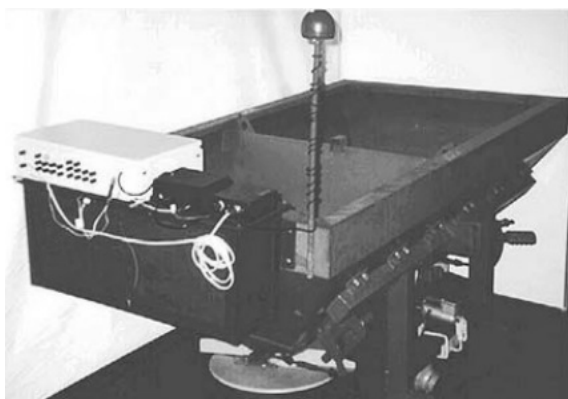


Рис. 3. Установка для дифференцированного внесения твердых минеральных удобрений с бортовым контроллером

На машине установлены автоматический привод управления заслонками дозатора, спутниковая навигационная система и система управления дозатором. Автоматический привод содержит механизм открывания заслонок дозатора, управляемый электродвигателем возвратно-поступательного действия. Общее управление исполнительным оборудованием осуществляется с помощью бортового контроллера или бортового компьютера.

На рис. 4 представлена высевающая система сеялки для точного земледелия [18, 19].

Она содержит микропроцессорную систему формирования управляющих импульсных сигналов, пневматические высевающие аппараты, состоящие из бункеров для семян, заборных камер, рабочих камер, семяпроводов и воздухопроводов, присоединенных к высевающим аппаратам, пневматическую систему приведения в действие высевающих аппаратов, которая также связана с высевающими аппаратами.

При этом в микропроцессорной системе формирования импульсов есть два независимых генератора импульсов, а также многоканальный усилитель микропроцессорной системы, с количеством каналов усиления, соответствующим количеству высевающих аппаратов.

Сами же аппараты – импульсного действия, с возможностью индивидуального управления высевом по каждому из них, рабочие камеры выполнены в виде пустотелых форм с вертикальной осью и соединены в нижней части через сетку с воздухопроводом постоянной подачи семян, а в верхней части присоединены патрубки возврата лишних семян, выход которых соединен с бункером для семян, в средней части в рабочие камеры введены с противоположных от семяпроводов сторон эжекторные патрубки, причем осевые линии каждого семяпровода и эжекторного патрубка лежат в одной вертикальной плоскости и пересекаются в центре рабочей камеры под тупым углом до 180° , в каждом из патрубков установлены электромагнитные клапаны с индивидуальным управлением от процессора, состоящие из соленоидов, которые расположены в одних вертикальных плоскостях с эжекторными патрубками над их горизонтальными частями в том месте, где в замкнутой эллипсоидной полости между нижней от соленоида стенкой эжекторного патрубка и мембраной находится ферросуспензия.

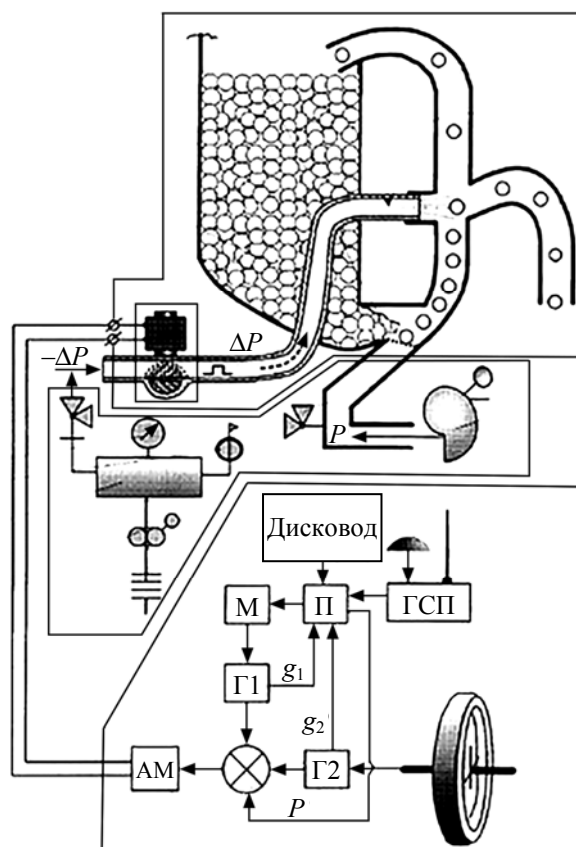


Рис. 4. Схема высевающей системы сеялки в СТЗ:

М – модулятор; П – процессор;

ГСП – глобальная система позиционирования;

Г1, Г2 – генераторы; g_1, g_2 – цепи обратной связи;

P – воздух под давлением;

АМ – многоканальный усилитель

Изобретением ставится задача обеспечения программированных сменных норм высева семян пневматической высевальной системой посевной машины с возможностью оперативной регулировки нормы высева на ходу, во время работы машины, в направлении ее движения, а также в поперечном направлении – по ширине захвата в соответствии с данными о характеристиках параметров состояния поля, а также задача повышения универсальности высевальной системы, упрощения конструкции, снижения повреждения посевного материала.

Для оперативного контроля процесса дозирования удобрений предлагается микропроцессорное устройство корректировки [20].

Устройство (рис. 5) представляет собой корпус, в котором находится микропроцессорный контроллер и блоки.

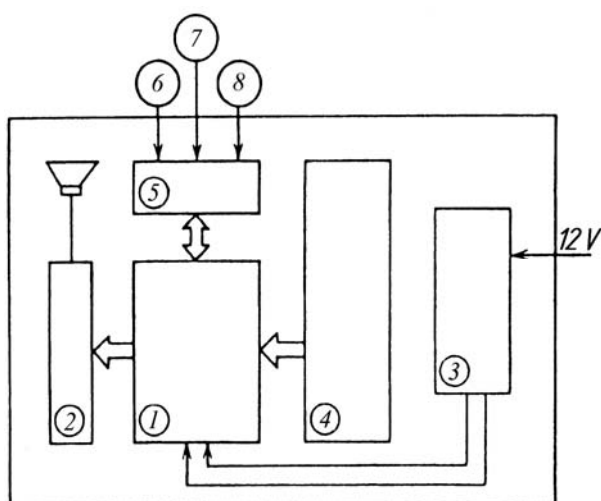


Рис. 5. Микропроцессорное устройство:

1 – контроллер; 2 – блок индикации;

3 – блок питания контроллера и датчиков;

4 – блок ввода режимов работы;

5 – блок сопряжения; 6–8 – датчики соответственно расхода удобрений, регистрации включения и выключения вала отбора мощности трактора, пути

Блок 4 позволяет устанавливать коэффициенты, соответствующие различным дозам внесения удобрений. С его помощью можно выбрать необходимые режимы работы устройства. Блок 3 преобразует напряжение бортовой сети энергетического средства (+12 В) в необходимое для работы устройства (+5 В). Датчик пути фотоэлектрического типа устанавливается на ведомом колесе трактора. Расход удобрений регистрируется устройством контроля. Датчик 7 представляет собой переключатель, устанавливаемый на рычаге управления. При выключении вала отбора мощности прекращается опрос датчиков 6 и 8 с сохранением предыдущей информации о параметрах контроля и объеме выпол-

ненной работы. Опрос датчика 6 осуществляется после каждого импульса от датчика 8. Сигналы от датчиков обрабатываются в блоке сопряжения 5. Основной узел устройства – контроллер 1, обрабатывающий поступающую информацию и отражающий ее в блоке индикации 2.

Управляющий элемент контроллера 1 – микропроцессор (МП), вырабатывающий световую и звуковую сигнализацию о параметре контролируемого процесса – подсказку для своевременного воздействия оператора на корректор рычагом гидрораспределителя. Корректор представляет собой измененный механизм привода подающего транспортера (рис. 6).

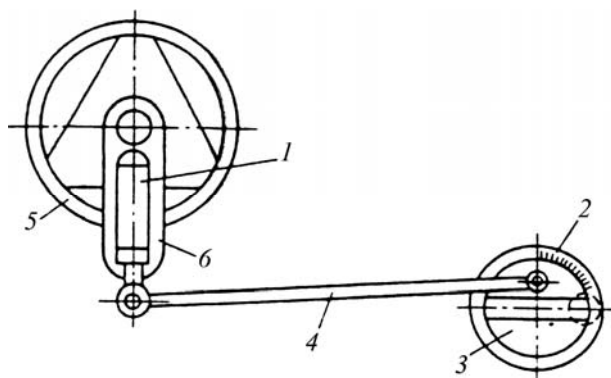


Рис. 6. Корректор дозирования удобрений:

1 – гидроцилиндр; 2 – кривошип;

3 – регулировочный диск; 4 – шатун;

5 – храповое колесо; 6 – коромысло

Задача создания системы регулирования нормы внесения технологических материалов, которая будет осуществлять регулирование в автоматическом режиме, в соответствии с картограммой внесения поставлена в работе [21].

Здесь в связи с необходимостью применения автоматических систем регулирования нормы высева и построения сеялки для технологий точного земледелия разработаны и изготовлены механические элементы, а также отдельные программно-аппаратные системы для реализации переменных норм высева. Такие системы включают в себя антенну спутниковой навигации, рабочий компьютер, электроцилиндр, датчики обратной связи и скорости. В компьютер устанавливается флеш-карта с картограммой-заданием на необходимую норму высева, а система спутниковой навигации предоставляет координаты агрегата в поле.

Система работает следующим образом: при перемещении агрегата рабочий компьютер получает сигнал от спутников СТЗ и в соответствии с параметрами состояния поля через электродвигатель привода дозатора контролирует частоту вращения шнекового дозатора, чем регулируется норма высева. Режим работы элек-

тродвигателя контролируется датчиком обратной связи и регулятором.

Основной составляющей системы для реализации переменных норм высева является блок управления высевающим аппаратом посевной машины (см. рис. 3).

Очевидно, что в данной работе реализация дифференцированных норм внесения материалов аналогична схеме на рис. 2.

Патентом на полезную модель [22] ставится задача разработки конструкции посевной машины для реализации дифференциального высева каждой секцией вибрационного высевающего аппарата при выполнении технологической операции посева с целью обеспечения подбора оптимальной площади питания растений с учетом пространственной неоднородности грунтового покрова.

Поставленная полезной моделью задача дифференциального высева решается изменением конструкции сеялки с вибрационным высевающим аппаратом путем использования специального контроллера, GPS-навигатора и устройства считывания электронных карточек.

На рис. 7 изображен общий вид посевной машины для дифференциального высева с вибрационным высевающим аппаратом.

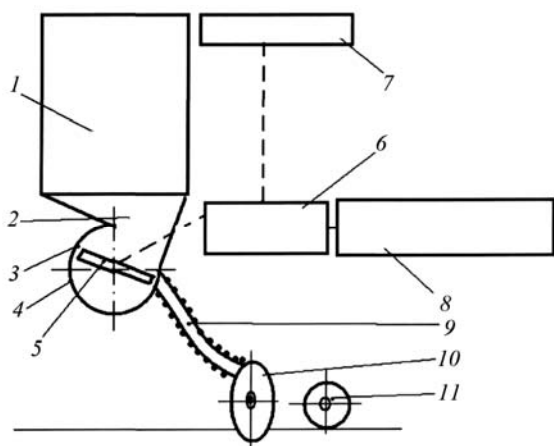


Рис. 7. Посевная машина для дифференциального высева с вибрационным высевающим аппаратом:

1 – аппарат; 2 – основание;

3 – высевающий диск;

4 – опора сферической формы;

5 – промежуточный диск;

6 – специальный контроллер; 7 – GPS-навигатор;

8 – устройство считывания электронных карточек;

9 – семяпроводы; 10 – сошники; 11 – катки

Устройство работает следующим образом: при движении сеялки семена из высевающего аппарата 1 поступают к основанию 2, состоящего из высевающего диска 3 и опоры сферической формы 4, где размещен промежуточный

диск 5, частотой вибрации которого изменяется норма высева.

Специальный контроллер 6 синхронизирует информацию от GPS-навигатора 7 и устройства считывания электронных карточек 8, управляет промежуточным диском 5, устанавливая заданную норму высева, и обеспечивает дифференциальный высев каждой секции вибрационного высевного аппарата путем изменения нормы высева в ходе выполнения технологического процесса, т. е. «на ходу», в поточном порядке. После высевающего аппарата 2 семена попадают в семяпроводы 9 и сошники 10. Для обеспечения условий эффективного роста семян используются прикатывающие катки 11.

При анализе конструкций и работы средств для дифференцированного внесения возникает вопрос относительно затрат на переоборудование или адаптацию существующих машин к данной технологии. При этом установлено, что покупка техники, позволяющей вносить семена и удобрения дифференцированно, – наиболее затратная статья в СТЗ. Поэтому производители задумываются о том, как модернизировать имеющийся парк машин, но переоборудование только одной сеялки обходится в десятки тысяч долларов [14, 23]. То есть затраты на адаптацию машин к технологии СТЗ сопоставимы со стоимостью самих машин.

Анализ исследований и публикаций позволил установить недостатки, возникающие при адаптации существующих машин к машинному и программному обеспечению СТЗ:

- аналоговое действие существующих машин в отличие от дискретного действия аппаратно-программного обеспечения СТЗ, требующее применения преобразователей;

- моральный износ машин, несоответствие техноукладов для исполнительных и командных устройств, т. е. несоответствие их уровня;

- наличие разветвленной кинематической цепи из механических передач, приводов и передаточных механизмов, а следовательно, инерционность срабатывания исполняющих устройств и снижение надежности системы;

- разунификация и разнообразие элементной базы;

- сложность и дороговизна предлагаемых технических решений.

Поэтому в данной работе поставлена задача разработки достаточно простых, универсальных и недорогих технических средств для поточно-программного регулирования операционных параметров технологических машин.

Для устранения указанных недостатков и решения поставленной задачи предлагается адаптация к требованиям СТЗ дозирующих систем, работающих с применением струйных

элементов и устройств [24]. Схема адаптации представлена на рис. 8.

Элементная база такой схемы включает в себя смартфон с соответствующим программным обеспечением (исходным кодом). Исходный код представляет собой структуру для взаимодействия программы внесения материалов с элементами управления и индикации. В качестве управления используется перемещение пневмоструйного датчика 1 с ниппелями (слайдера) относительно перфодиска 2 (рис. 9), т. е. регулируется частота вырабатываемых пневмоимпульсов, так как частотное регулирование имеет следующие преимущества:

- высокая точность регулирования в наиболее экономичном режиме;
- возможность удаленного управления и диагностики работы высевающей системы;
- простота конструктивной реализации.

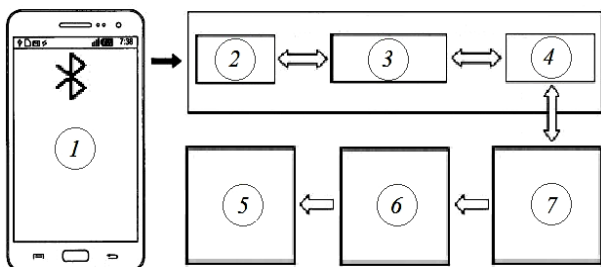


Рис. 8. Принципиальная структурная схема реализации поточно-программного регулирования норм внесения технологических материалов:

- 1 – смартфон; 2 – Bluetooth-адаптер;
- 3 – микроконтроллер; 4 – выходы;
- 5 – исполнительные механизмы (сервомашин);
- 6 – блок управления струйными устройствами;
- 7 – струйные устройства (высевающие аппараты)

На выходе мы получаем управляемое перемещение вала редуктора. Чтобы управлять таким перемещением, сервомашинка имеет специальный входной сигнал управления.

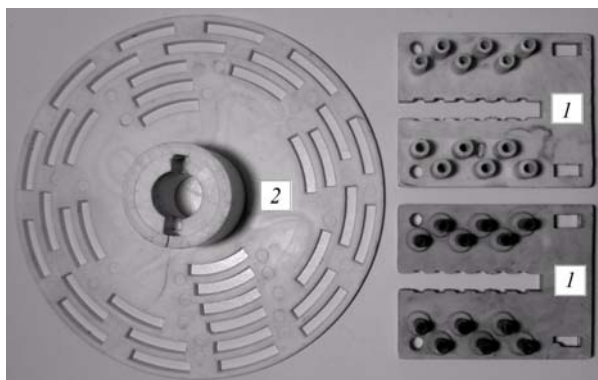


Рис. 9. Элементы управления системой:
1 – пневмоструйный датчик с ниппелями (слайдер);
2 – перфорированный диск

Далее следует плата с микроконтроллером, к которой подключен Bluetooth-адаптер (рис. 10).

Сервомашинка (рис. 11) – это электродвигатель с редуктором и схемой управления в одном корпусе. Сигнал представляет собой импульс определенной длительности, который должен повторяться 50 раз в секунду. Временная ширина импульса определяет положение выходного вала сервомашинки, к которому его стремится повернуть двигатель, т. е. задавая определенную ширину импульса и повторяя его 50 раз в секунду, мы можем ожидать, что выходной вал сервомашинки займет определенное желаемое положение.

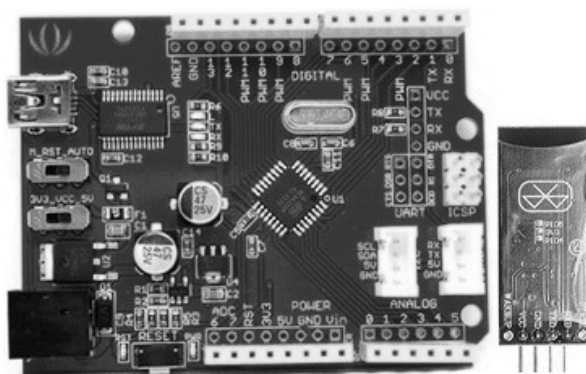


Рис. 10. Плата с микроконтроллером и модулем Bluetooth



Рис. 11. Сервомашинка

Среднему положению выходного вала сервомашинки соответствует ширина импульса 1500 мс, крайнему левому – 500 мс, крайнему правому – 2500 мс. При этом не нужно вручную генерировать последовательность импульсов для сервомашинки, так как используются библиотеки программного обеспечения, которые осуществляют это автоматически. Мы только указываем, какая ширина импульса необходима в данный момент времени.

Запишем код программы, который будет являться промежуточным звеном между слайдером и сервомашинной. Информация о положении слайдера находится в структуре RemoteXY в поле slider_1. В общем виде код программы выглядит следующим образом:

```
/* структура кода определяет все переменные
управления */ struct {
/* input variable */
unsigned char slider_1; /* = 0...100 положение
слайдера */
/* other variable */
unsigned char connect_flag;
/* = 1 if wire connected, else =0 */ } RemoteXY
```

Определяем строку кода, которая пересчитывает значение положения слайдера, изменяемое от 0 до 100, в величину длительности импульса для управления сервомашинной: `int ms = RemoteXY.slider_1*20+500.`

Таким образом, получим программно-аппаратную систему управления устройством внесения материалов для решения поставленной задачи.

Затраты на создание данной системы управления будут следующими, долл. США: плата с микроконтроллером – 16, модуль Bluetooth – 7, сервомашинка – 5, драйвер сервомашинки – 10,

промежуточный редуктор – примерно столько же, т. е. 10. Принимая коэффициент, учитывающий затраты на монтаж (1,2) и округляя сумму, получим 60 долл. США. То есть затраты на адаптацию дозирующих устройств на основе пневмоники для дифференцированного внесения значительно меньше, чем в машинах при традиционной механизации.

Заключение. Методы СТЗ позволяют экономить материальные и трудовые затраты и более эффективно использовать потенциал плодородия при существенном снижении техногенной нагрузки. Однако дифференцированное внесение материалов в СТЗ сдерживается недостатком сравнительно простых, дешевых и надежных в использовании средств технической реализации предписанных агротехнологических воздействий. Большинство существующих технических средств морально устарели и не предрасположены к работе в условиях СТЗ, причем необходимое их переоборудование связано со значительными техническими и материальными издержками. Использование дозирующих систем, работающих с применением струйных элементов и устройств, позволяет устранить существующие недостатки, причем затраты на их адаптацию к СТЗ значительно меньше существующих вариантов.

Литература

1. Марченко Н. М., Личман Г. И. Машинные технологии для дифференцированного внесения удобрений // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 1999. № 12. С. 32–34.
2. Технічні проблеми точного землеробства в Україні. Д. Г. Войтюк [та ін.] // Вісник аграрної науки. 2000. № 9. С. 41–46.
3. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Гаврилюк Г. Р. Методи реалізації системи точного землеробства // Науковий вісник Національного аграрного університету. 1998. Вип. 9. С. 67–69.
4. Войтюк Д. Г., Аніскевич Л. В., Михайлевський В. А. Інформаційні технології точного землеробства // Промышленные измерения, контроль, автоматизация, диагностика. 2004. № 1. С. 28–31.
5. Кравчук В. Пріоритетні напрямки наукових досліджень в прогнозуванні, випробуванні та сертифікації техніки і технологій для АПК // Техніка АПК. 2008. № 1. С. 6–7.
6. Аніскевич Л., Гаврилюк Г., Ямков О. Система точного землеробства: ефективність і веління часу // Пропозиція. 2000. № 6. С. 96–97.
7. Шеповалов В. Д. Автоматика топоориентированных технологий растениеводства // Техника в сельском хозяйстве. 2001. № 1. С. 3–6.
8. Аніскевич Л. В. Сенсор-технологія в точному землеробстві // Науковий вісник Національного аграрного університету. 1998. Вип. 9. С. 70–72.
9. Сарахан Е. В. Информационные технологии в прецизионном земледелии // Компьютерные средства, сети и системы. 2010. № 9. С. 82–91.
10. Інформаційна технологія системи точного землеробства. Л. Погорілий [та ін.] // Техніка АПК. 2000. № 10. С. 21–22.
11. Шевченко И. А., Пашко А. А. Застосування інформаційних технологій в сільськогосподарському виробництві // Техніка АПК. 2000. № 8. С. 18–19.
12. Parameter optimization using coefficient of variation of intervals for one-seed sowing apparatus with horizontal disk during maize seeding. V. Belodedov [et al.] // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. 2007. Vol. VII. P. 31–37.
13. Parameter optimization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation. V. Belodedov [et al.] // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. 2013. Vol. 13, No. 4. P. 18–24.
14. Точное земледелие в Украине. URL: <http://b-logbook.info/technology/agro-technology/precision-agriculture.html> (дата обращения: 02.02.2016).

15. Устройство для посева с переменной нормой высева: пат. 1544230 Украина / А. Б. Коганов, Х. Н. Ибрагимов, В. А. Елкин, А. В. Хохлов. URL: <http://patents.su/5-1544230-ustrojstvo-dlya-poseva-s-peremennojj-normojj-vyseva.html> (дата обращения: 04.02.2016).

16. Сівалка для диференційованої сівби з катушково-штифтовим висівним апаратом: пат. 80053 Україна / Л. В. Аніскевич, В. Б. Онищенко, О. О. Броварець. URL: <http://uapatents.com/4-80053-sivalka-dlya-diferencijjovano-sivbi-z-kotushkovo-shtiftovim-visivnim-aparatom.html> (дата обращения: 05.02.2016).

17. Сівалка для диференційованої сівби з катушково-штифтовим висівним апаратом: пат. 100962 Україна / О. О. Броварець, Л. В. Аніскевич, В. Б. Онищенко. URL: <http://uapatents.com/4-100962-sivalka-dlya-diferencijjovano-sivbi-z-kotushkovo-shtiftovim-visivnim-aparatom.html> (дата обращения: 05.02.2016).

18. Висіваюча система сівалки для точного землеробства: пат. 29525 Україна / Д. Г. Войтюк, О. В. Ямков, Г. Бернхардт, Г. Р. Гаврилюк, Л. В. Аніскевич. URL: <http://uapatents.com/5-29525-visivna-sistema-sivalki-dlya-tochnogo-zemlerobstva.html> (дата обращения: 06.02.2016).

19. Пневмоімпульсний висіваючий апарат для сівалки точного землеробства: пат. 44525 Україна / В. В. Федорчак, А. І. Бойко, М. О. Свірень, В. В. Амосов. URL: <http://uapatents.com/2-44525-pnevmoimpulsnijj-visivnijj-aparat-sivalki-dlya-tochnogo-zemlerobstva.html> (дата обращения: 08.02.2016).

20. Малаков Ю. Ф. Устройство контроля и корректировки дозирования удобрений // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2000. № 12. С. 32–33.

21. Система для реализации сменных норм высева. URL: <http://elibrary.nubip.edu.ua/7089/> (дата обращения: 09.02.2016).

22. Сівалка для диференційованої сівби з вібраційним висівним апаратом: пат. 80351 Україна / Л. В. Аніскевич, О. О. Броварець, В. Б. Онищенко. URL: <http://uapatents.com/4-80351-sivalka-dlya-diferencijjovano-sivbi-z-vibracijnim-visivnim-aparatom.html> (дата обращения: 10.02.2016).

23. Точное земледелие повышает рентабельность растениеводства. URL: <http://b-logbook.info/interview/tochnoe-zemledelie-povyishaet-rentabelnost-rastenievodstva.html> (дата обращения: 11.02.2016).

24. Pankov A., Zamota T., Shcheglov A. The research of application and working process of fluid-jet elements and devices in planting techniques // ТЕКА Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture. 2014. Vol. 14, No. 1. P. 191–199.

References

1. Marchenko N. M., Lichman G. I. Machine technology for differential fertilizer. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 1999, no. 12, pp. 32–34 (In Russian).

2. Voytyuk D. G., Kravchuk V. I., Koshevoy A. A., Baranov G. L. The technical challenges of precision agriculture in Ukraine. *Vistnyk agrarnoyi nauky* [Journal of agricultural science], 2000, no. 9, pp. 41–46 (In Ukraine).

3. Voytyuk D. G., Aniskevych L. V., Gavrylyuk G. R. Methods of implementation of precision farming. *Naukovyy vistnyk Natsionalnogo agrarnogo universytetu* [Scientific Bulletin of National Agrarian University], 1998, issue 9, pp. 67–69 (In Ukraine).

4. Voytyuk D. G., Aniskevych L. V., Mykhailevskyy V. A. Information technology for precision farming. *Promyshlennyye izmereniya, kontrol', avtomatizatsiya, diagnostika* [Industrial measurement, control, automation, diagnostics], 2004, no. 1, pp. 28–31 (In Ukraine).

5. Kravchuk V. Prioritetni napryamky naukovykh doslidzhen v prognozuvanni, vyprovuvanni ta sertyfikatsiyi tekhniki i tekhnologiy dlya APK. *Tekhnika APK* [Technique AIC], 2008, no. 1, pp. 6–7 (In Ukraine).

6. Aniskevych L., Gavrylyuk G., Yamkov O. Precision agriculture: efficiency and time requirements. *Propozytsiya* [Offering], 2000, no. 6, pp. 96–97 (In Ukraine).

7. Shepvalov V. D. Automation copoeration of plant growing technology. *Tekhnika v sel'skom khozyaystve* [Technology in agriculture], 2001, no. 1, pp. 3–6 (In Russian).

8. Aniskevych L. V. Sensor technology in precision agriculture. *Naukovyy vistnyk Natsionalnogo agrarnogo universytetu* [Scientific Bulletin of National Agrarian University], 1998, issue 9, pp. 70–72 (In Ukraine).

9. Sarakhan E. V. Information technology in precision agriculture. *Komp'yuternyye sredstva, seti i sistemy* [Computer means, networks and systems], 2010, issue 9, pp. 82–91 (In Russian).

10. Pogorilyy L., Osipov M., Pashko A., Solomakha O. Information technology for precision farming. *Tekhnika APK* [Technique AIC], 2000, no. 10, pp. 21–22 (In Ukraine).

11. Shevchenko I. A., Pashko A. A. Use of information technologies in agricultural production. *Tekhnika APK* [Technique AIC], 2000, no. 8, pp. 18–19 (In Ukraine).

12. Belodedov V., Nosko P., Fil P., Stavitskiy V. Parameter optimization using coefficient of variation of intervals for one-seed sowing apparatus with horizontal disk during maize seeding. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2007, vol. VII, pp. 31–37 (In Poland).

13. Belodedov V., Nosko P., Boyko G., Fil P., Mazneva M.. Parameter optimization of dosator for technique cultures on the quantity intervals, close by to calculation. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2013, vol. 13, no. 4, pp. 18–24 (In Poland).

14. *Tochnoye zemledeliye v Ukraine* [Precision agriculture in Ukraine]. Available at: <<http://b-logbook.info/technology/agro-technology/precision-agriculture.html>> (accessed 02.02.2016).

15. Koganov A. B., Ybragymov H. N., Elkyn V. A., Hohlov A. V. *Ustroystvo dlya poseva s peremennoy normoy vyseva* [Device for planting with variable seeding rate]. Patent UA, no. 1544230. Available at: <<http://patents.su/5-1544230-ustrojstvo-dlya-poseva-s-peremennoj-normoj-vyseva.html>> (accessed 04.02.2016).

16. Aniskevych L. V., Onyshhenko V. B., Brovarec O. O. *Sivalka dlya dyferenciyovanoj sivy z kotushkovo-shtyftovym vysivnym aparatom* [The planter for variable-rate seeding with a reel-pin metering apparatus]. Patent UA, no. 80053. Available at: <<http://uapatents.com/4-80053-sivalka-dlya-diferencijjovano-sivbi-z-kotushkovo-shtiftovim-visivnim-aparatom.html>> (accessed 05.02.2016).

17. Brovarec O. O., Aniskevych L. V., Onyshchenko V. B. *Sivalka dlya dyferenciyovanoj sivy z kotushkovo-shtyftovym vysivnym aparatom* [The planter for variable-rate seeding with a reel-pin metering apparatus]. Patent UA, no. 100962. Available at: <<http://uapatents.com/4-100962-sivalka-dlya-diferencijjovano-sivbi-z-kotushkovo-shtiftovim-visivnim-aparatom.html>> (accessed 05.02.2016).

18. Voytyuk D. G., Yamkov O. V., Bernkhardt G., Gavrylyuk G. R., Aniskevych L. V. *Vysivayucha sistema sivalky dlya tochnogo zemlerobstva* [Seed metering system of the planter for precision farming]. Patent UA, no. 29525. Available at: <<http://uapatents.com/5-29525-visivna-sistema-sivalki-dlya-tochnogo-zemlerobstva.html>> (accessed 06.02.2016).

19. Fedorchak V. V., Boyko A. I., Sviren M. O., Amosov V. V. *Pnevmoimpulsnyy vysivayuchyy aparat dlya sivalky tochnogo zemlerobstva* [Pneumopulse sowing machine seeder for precision farming]. Patent UA, no. 44525. Available at: <<http://uapatents.com/2-44525-pnevmoimpulsnij-visivnij-aparat-sivalki-dlya-tochnogo-zemlerobstva.html>> (accessed 08.02.2016).

20. Malakov Yu. F. Device monitoring and adjusting dosing of fertilizers. *Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny* [Tractors and agricultural machinery], 2000, no. 12, pp. 32–33 (In Russian).

21. *Sistema dlya realizatsii smennykh norm vyseva* [System for the implementation of the replacement of seeding rates]. Available at: <<http://elibrary.nubip.edu.ua/7089/>> (accessed 09.02.2016).

22. Aniskevych L. V., Brovarec O. O., Onyshhenko V. B. *Sivalka dlya dyferenciyovanoj sivy z vibracijnym vysivnym aparatom* [The planter for variable-rate seeding with the vibration metering system]. Patent UA, no. 80351. Available at: <<http://uapatents.com/4-80351-sivalka-dlya-diferencijjovano-sivbi-z-vibracijnim-visivnim-aparatom.html>> (accessed 10.02.2016).

23. *Tochnoye zemledeliye povyshaet rentabel'nost' rasteniyevodstva* [Precision agriculture improves the profitability of crop production]. Available at: <<http://b-logbook.info/interview/tochnoe-zemledeliye-povyshaet-rentabelnost-rasteniyevodstva.html>> (accessed 11.02.2016).

24. Pankov A., Zamota T., Shcheglov A. The research of application and working process of fluid-jet elements and devices in planting techniques. *TEKA Commission of Motorization and Power Industry in Agriculture*, 2014, vol. 14, no. 1, pp. 191–199 (In Poland).

Информация об авторах

Аулин Виктор Васильевич – доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт машин». Кировоградский национальный технический университет (25006, г. Кировоград, пр-т Университетский, 8, Украина). E-mail: aulin52@mail.ru

Панков Андрей Александрович – кандидат технических наук, доцент, соискатель кафедры «Эксплуатация и ремонт машин». Кировоградский национальный технический университет (25006, г. Кировоград, пр-т Университетский, 8, Украина). E-mail: app.post@rambler.ru

Information about the authors

Aulin Victor Vasil'evich – DSc (Engineering), Professor, the Department “Exploitation and Repair of Machines”. Kirovograd National Technical University (8, Universitetskiy Ave., 25006, Kirovograd, Ukraine). E-mail: aulin52@mail.ru

Pankov Andrey Aleksandrovich - PhD (Engineering), Associate Professor, external doctorate student, the Department “Exploitation and repair of machines”. Kirovograd National Technical University (8, Universitetskiy Ave., 25006, Kirovograd, Ukraine). E-mail: app.post@rambler.ru

Поступила 29.03.2016

УДК 630*165.3

О. Ю. Баранов¹, В. Балиукас², А. Юшкаускайте²¹ Институт леса Национальной академии наук Беларуси² Институт леса Центра аграрных и лесных наук Литвы

**АНАЛИЗ СТЕПЕНИ ГЕНЕТИЧЕСКОГО ПОЛИМОРФИЗМА
СЕМЕННОГО ПОТОМСТВА *PINUS SYLVESTRIS* L. И *BETULA PENDULA* ROTH.
С РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНЬЮ ФЕНОТИПИЧЕСКОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ**

Проведена оценка пластичности фенотипических признаков и уровня генетического полиморфизма полусибсовых семей сосны обыкновенной и березы повислой. В ходе исследований выполнены: выделение суммарной ДНК из растительных образцов; амплификация микросателлитных локусов, локализованных в ядре, на основе использования технологии полимеразной цепной реакции; электрофоретический анализ ампликонов, генотипирование образцов, описание выявляемого полиморфизма и генетической структуры. Установлено, что группы семей сосны обыкновенной с высоким уровнем экологической пластичности превышают по показателям генетического полиморфизма группы семей с низким уровнем экологической пластичности. Уровень генетической дифференциации был наименьшим среди групп каждой из семей. Для березы повислой установлено: уровень изменчивости для групп, сформированных на основании анализа отдельных признаков и их сочетаний, являлся сходным, что указывает на ограниченное число генов, детерминирующих признаки пластичности. Для каждого признака были выявлены локусы, являющиеся генетическими маркерами для проведения отбора селективируемых признаков. Уровень генетического разнообразия расчетного пыльцевого пула был выше для пластичных семей. Анализ генетической структуры пыльцевого пула, выраженный в частотах встречаемости аллельных вариантов не выявил достоверной корреляции ни с одним из изученных признаков.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, береза повислая, генетическая изменчивость, ДНК-маркеры.

O. Baranov¹, V. Baliuckas², A. Jushkauskaite²¹Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus²Institute of Forestry of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry

**ANALYSIS OF THE DEGREE OF GENETIC POLYMORPHISM
IN SEED PROGENY OF *PINUS SYLVESTRIS* L. AND *BETULA PENDULA* ROTH.
WITH VARIOUS LEVEL OF PHENOTYPIC PLASTICITY**

Evaluation of phenotypic plasticity characteristics and level of genetic polymorphism half-sibling families of Scots pine and Silver birch was carried out. The main stage of work were: isolation of the total DNA from plant samples; carrying out amplification of microsatellite loci that are localized in the nucleus, using technology based on polymerase chain reaction; electrophoretic analysis of amplicons, genotyping of samples, description detectable polymorphism and genetic structure. It was found that the group of families of Scots pine with high ecological plasticity levels exceed the indicators of genetic polymorphism of the group of families with a low level of ecological plasticity. The level of genetic differentiation was the lowest among the groups of each of the families. For Silver birch found that variability groups formed on the basis of analysis of individual features and their combinations was similar, indicating that a limited number of genes determining signs of plasticity. For each trait loci have been identified, which are genetic markers for selection of selectable features. The level of genetic diversity in the design of pollen pool was higher for plastic families. Analysis of the genetic structure of pollen pool, expressed in the occurrence frequencies of allelic variants showed no significant correlation with any of the studied traits.

Key words: scots pine, silver birch, genetic variation, DNA markers.

Введение. Фенотипическая пластичность в последнее время является актуальной темой научных исследований, что связано как с оценкой влияния отдельных абиотических факторов на морфометрические параметры лесных древесных пород, так и с изучением адаптационного потенциала растений в условиях изменяющегося климата, интенсификации процессов

природопользования, увеличения числа интродуцентов, инвазивных видов патогенов и вредителей [1]. Основным аспектом фенотипической пластичности в эволюционной биологии является анализ основных типов изменений растений и установление молекулярных механизмов контроля и реализации генетической информации. Решение данных вопросов позво-

лит прогнозировать изменения структуры ареалов видов, структуры популяций и лесных фитоценозов, продуктивности и устойчивости древостоев различного происхождения в условиях глобального изменения климата. Тем не менее до настоящего времени проблематика фенотипической пластичности остается открытой, что связано с комплексным характером данного явления и определенной сложностью проведения исследований для получения объективных данных. Несмотря на наличие большого числа литературных данных, большинство из них посвящено фрагментарному изучению отдельных признаков у ограниченного числа видов или зачастую содержат спорные и противоречивые результаты и выводы, что не позволяет сформировать единую концепцию и методологию анализа явления фенотипической пластичности [1].

Одним из подходов для изучения фенотипической пластичности является использование генетических маркеров, основанных на анализе структуры и полиморфизма нуклеотидных последовательностей молекулы ДНК [2]. К настоящему времени использование ДНК-маркеров позволило решить фундаментальные и прикладные задачи, связанные с изучением генфондов различных растительных видов, включая оценку интенсивности миграции генов между популяциями, анализ межвидовой гибридизации, построение генетических карт, исследование уровня генетического разнообразия и др. За последнее десятилетие благодаря полному или частичному секвенированию геномов различных растительных видов большие успехи были достигнуты в области идентификации генов и их комплексов, ответственных за проявление хозяйственно ценных признаков [3]. Изучение изменчивости данных локусов позволяет находить аллельные варианты и генотипы, характеризующие ту или иную степень проявления признака [4].

Все вышесказанное обусловило постановку цели данной работы – определение уровня генетической изменчивости полусибсовых семей сосны обыкновенной и березы повислой с различной степенью экологической пластичности признаков на основании анализа полиморфных локусов ядерной ДНК.

Основная часть. *Сосна обыкновенная.* В ходе предварительных морфометрических исследований были изучены 140 полусибсовых семей сосны обыкновенной из 7 популяций Литвы, представленные в 5 испытательных культурах (20 семей в каждом объекте). Измерения проводились в возрасте 30 лет. Фенотипическая пластичность семей была определена по признакам: высота дерева, диаметр ствола,

кривизна ствола, толщина и угол наклона ветвей, плотность древесины [5]. Объектами молекулярно-генетических исследований явились деревья (потомство) из двух полусибсовых семей сосны обыкновенной с различным уровнем экологической пластичности по большинству исследованных признаков: 462 (с высоким уровнем экологической пластичности) и 479 (с низким уровнем экологической пластичности). В качестве экспериментального материала для выделения ДНК была использована хвоя. Образцы для каждой из семей были собраны в испытательных культурах, произрастающих в трех географически удаленных регионах (D, I, V). Для микросателлитного анализа использовались 5 полиморфных SSR-маркеров ядерной ДНК (локусы PtTX 3116, PtTX 4001, PtTX 2123, PtTX 3013, PtTX 3020). Всего проанализировано 6 выборок: 462D, 462I, 462V, 479D, 479I, 479V (84 дерева).

Береза повислая. Объектами молекулярно-генетических исследований являлись полусибсовые семьи березы повислой: 18–48, 40–117, 18–47, 49–71, 16–161, 18–21, 40–119, 16–162, 49–69, 49–74, 40–118, 16–163. В качестве экспериментального материала для выделения ДНК были использованы ткани листовых пластинок. Общее число образцов (индивидов) составило 160 шт. (по 15 деревьев в каждой группе).

Все исследуемые семьи были сгруппированы по признаку пластичности: отсутствие пластичности – 40–117, 18–48; пластичные семьи – 49–69, 49–74, 49–71, 40–118, 40–119, 16–161, 16–162, 16–163, 18–21, 18–47, в том числе пластичные по 1 признаку – 49–71, 16–161, 18–47; пластичные по 2 признакам – 40–119, 16–162, 18–21; пластичные по 3–4 признакам – 49–69, 49–74, 40–118, 16–163.

Также для всех исследуемых семей были определены признаки, по которым была установлена пластичность: 18–47 – приживаемость; 49–71 – сезонное изменение окраски листьев; 16–161 – сезонное изменение окраски листьев; 18–21 – приживаемость, сезонное изменение окраски листьев; 40–119 – высота, сезонное изменение окраски листьев; 16–162 – высота, начало вегетации; 49–69 – плотность древесины, высота, сохранность, сезонное изменение окраски листьев; 49–74 – плотность древесины, сохранность, начало вегетации, сезонное изменение окраски листьев; 40–118 – высота, кривизна ствола, сохранность, сезонное изменение окраски листьев; 16–163 – высота, диаметр ствола, сезонное изменение окраски листьев.

В качестве маркеров были использованы полиморфные SSR локусы берез – L 2.2, L 1.10, L 7.8, L 10.1, L 0.22, L 7.3, L 5.4. Выбор данных маркеров был обусловлен их высоким уровнем

изменчивости (на основании предварительного анализа показателей полиморфизма: числа аллелей на локус (>5), наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности (0,40–0,90)).

С целью оценки взаимосвязи полиморфизма фенотипических признаков и молекулярно-генетических маркеров были рассчитаны основные параметры генетического полиморфизма.

Заключение. *Сосна обыкновенная.* Анализ распределения значений параметра ожидаемой гетерозиготности (усредненного для 5 локусов) среди групп выявил достоверные различия между семьями. Так, наибольшим значением параметра ожидаемой гетерозиготности (H_e) характеризовалось полусибсовое потомство семьи 462 (0,44–0,47) вне зависимости от региональной принадлежности места произрастания. При этом наибольшие значения были выявлены по локусу PtTX 3116 (0,69–0,78), что вероятно указывает на локализацию данного маркера в группе сцепления с генами, детерминирующими основные морфологические параметры сосны обыкновенной или оказывающими влияние на проявление экологической пластичности данных признаков. Для семьи 479 значение H_e составили 0,33–0,39, по локусу PtTX 3116 – 0,32–0,53.

Значения параметра наблюдаемой гетерозиготности (H_o) для древостоя с низкой пластичностью 479D (0,45) превышали величины для пластичных выборок 462I (0,44) и 462V (0,43). В то же время анализ групп из географически сходных регионов указал на постоянное превышение показателя наблюдаемой гетерозиготности семьи 462 с высоким уровнем экологической пластичности (0,43, 0,44, 0,49) по сравнению со значениями H_o семьи 479 (0,37, 0,42, 0,45) в каждой конкретной локации. Полученные результаты, по всей видимости, указывают на влияние условий произрастания на отбор определенных генотипов и, как следствие, на формирование генетической структуры насаждений сосны обыкновенной. Как и в предыдущем случае, наибольший вклад в значения усредненного показателя H_o внес локус PtTX 3116.

Сравнительное изучение значений показателей гетерозиготности показало, что полусибсовое потомство семьи 462 характеризовалось сходством значений H_o и H_e (различия менее 1%), указывающее на наличие равновесного (по Харди – Вайнбергу) состояния генетической структуры. В то же время в семье 479 наблюдался существенный избыток гетерозигот ($>15\%$). Таким образом, элиминация крайних (альтернативных) гомозиготных генотипов, по всей видимости, является отражением процессов сужения генетического и фенотипического

разнообразия и, как следствие, снижения уровня пластичности морфологических признаков в данной семье.

Береза повислая. Анализ параметров ожидаемой и наблюдаемой гетерозиготности для различных локусов березы повислой выявил высокий уровень вариации значений среди групп семей (0,18–1,00). При этом уровень как наблюдаемой, так и ожидаемой гетерозиготности носил индивидуальный характер для каждой семьи по изученному перечню локусов.

Кроме того, характер распределения параметров гетерозиготности для различных локусов между семьями березы повислой был разносторонним. Так, локус L 10.1 характеризовался значительной вариацией значений среди полусибсовых семей по сравнению с маркером L 5.4, для которого максимальное значение отклонения от усредненного показателя не превысило 30%, а среднее отклонение составило 11% от рассчитанного показателя. Аналогичные параметры для локуса L 10.1 превысили 50% для максимального и 39% для усредненного отклонения. Анализ локусов, находящихся в одной группе сцепления (L2.2 и L7.3), также выявил разнонаправленность процессов формирования генотипической структуры среди семей, характеризующихся различным уровнем и сочетанием признаков.

Сходные результаты были получены и для параметра ожидаемой гетерозиготности, отражающей генотипическую структуру выборок при условии равновероятного скрещивания. В то же время необходимо отметить, что в большинстве случаев направленность и характер распределения среди семей по показателям H_o и H_e совпадали, что подтверждает формирование специфической генотипической структуры для каждой из выборок.

Таким образом, полученные данные, по всей видимости, указывают на специфичность детерминации изученных селективируемых признаков, для которых выявлены пластичность и отсутствие прямой взаимосвязи между ними. Дополнительным подтверждением данного предположения являются значения параметра наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности среди групп семей березы повислой, объединенных по числу диагностированных признаков, для которых было установлено наличие пластичности. Усредненные значения параметров как наблюдаемой, так и ожидаемой гетерозиготности между группами достоверно не отличались, хотя имеются различия по степени пластичности выборок.

Несмотря на отсутствие значимых отличий по параметру H_o , характер кластеризации значений, полученных для индивидуальных локу-

сов, совпадал с уровнем пластичности, выявляемым в группах. В то же время данная зависимость не была выявлена по показателю H_e , что по всей видимости свидетельствует на превалирование генотипических данных, ассоциированных с параметром пластичности.

Исходя из полученных результатов, на следующем этапе исследований был проведен анализ ассоциации различных локусов (по параметру наблюдаемой гетерозиготности) в группах с разным уровнем пластичности. Для ряда локусов выявлена корреляция только внутри отдельных групп, что также указывает на отсутствие взаимосвязи между уровнем изменчивости и селекционным критерием уровня пластичности.

Оценка генетической структуры семей показала, что достоверная корреляция частот встречаемости аллельных вариантов для семей с селективируемыми признаками установлена только для локуса L 10.1 с признаком фенологии.

Анализ параметров подразделенности показал, что группы в целом и группы, сформированные по отдельным селективируемым признакам, характеризуются сходством показателей F_{st} , что указывает на роль ограниченного числа генов в геноме, ассоциированных с параметрами пластичности.

Детальный анализ параметров гетерозиготности по группам, сформированным на основании одного селективируемого признака, выявил корреляцию между уровнем изменчивости по некоторым локусам и показателями пластичности. Достоверные различия между группами в целом по набору локусов не были установлены. В то же время по признаку приживаемости уровень наблюдаемой гетерозиготности был выше в группе пластичных семей. По признаку диаметра ствола наблюдалась обратная тенденция – усредненный уровень H_o у пластичной группы был ниже. Детальный анализ полученных данных показал, что в каждой группе наблюдалась разнонаправленность формирования

изменчивости для различных локусов. Значимые результаты были получены по признаку диаметра ствола для локуса L 10.1.

В целом полученные данные также подтверждают предположение о генетической детерминации изученных признаков ограниченным числом генов. SSR локусы, для которых выявлены достоверные отличия по уровню гетерозиготности, могут выступать молекулярными маркерами для оценки определенных селективируемых признаков.

Одним из направлений анализа была оценка влияния генетической структуры отцовской составляющей на уровень пластичности. Для этого определялся консенсусный генотип матери по каждому локусу, который впоследствии вычитался из генотипов индивидов, оставляя отцовскую составляющую.

Анализ показателя числа выявленных аллелей для каждого локуса и усредненного значения для выборки в целом выявил достоверную корреляцию с показателями пластичности: группы с более высоким уровнем пластичности характеризовались большим числом аллельного разнообразия (13 против 8), что по всей видимости также может определять увеличение вариации селективируемых признаков.

Сходные результаты были получены при оценке параметра уровня генетического разнообразия H_e , рассчитанного на основании гаплоидной модели пыльцевого пула: общее разнообразие генетической структуры пыльцевого пула было выше в группе пластичных семей (0,81 против 0,75). Более высокие показатели индекса разнообразия Шеннона были также установлены для групп семей, характеризующихся большим числом выявленных пластичных признаков (2,06 против 1,69).

Анализ генетической структуры пыльцевого пула, выраженный в частотах встречаемости аллельных вариантов, не выявил достоверной корреляции ни с одним из изученных признаков.

Литература

1. Pigliucci M. Phenotypic Plasticity: Beyond Nature and Nurture. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001. 328 p.
2. Which DNA Marker for Which Purpose. Final Compendium of the Research Project Development, optimisation and validation of molecular tools for assessment of biodiversity in forest trees in the European Union / E. M. Gillet (lead.); DGXII Biotechnology FW IV Research Programme Molecular Tools for Biodiversity. Frankfurt, 1999. 253 p.
3. Dixon R. A., Lamb C. J. Metabolic engineering: prospects for crop improvement through the genetic manipulation of phenylpropanoid biosynthesis and defense responses – a review // *Gene*. 1996. Vol. 179. P. 61–71.
4. Pigliucci M. Environmental Heterogeneity: Temporal and Spatial [Electronic resource] // Wiley online library. Published Online. 19 Apr. 2001. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1038/npg.els.0001766/full> (date of access: 04.01.2016).
5. Shukla G. K. Some statistical aspects of partitioning genotype – environment components of variability // *Heredity*. 1972. Vol. 29. P. 237–245.

References

1. Pigliucci M. Phenotypic Plasticity: Beyond Nature and Nurture. Baltimore: Johns Hopkins University Press, 2001. 328 p.
2. Gillet E. M. Which DNA Marker for Which Purpose. Final Compendium of the Research Project Development, optimisation and validation of molecular tools for assessment of biodiversity in forest trees in the European Union. Frankfurt, 1999. 253 p.
3. Dixon R. A., Lamb C. J. Metabolic engineering: prospects for crop improvement through the genetic manipulation of phenylpropanoid biosynthesis and defense responses – a review. *Gene*, 1996, vol. 179, pp. 61–71.
4. Pigliucci M. Environmental Heterogeneity: Temporal and Spatial. URL: <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1038/npg.els.0001766/full> (accessed 04.01.2016).
5. Shukla G. K. Some statistical aspects of partitioning genotype – environment components of variability. *Heredity*, 1972, vol. 29, pp. 237–245.

Информация об авторах

Баранов Олег Юрьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и биотехнологии. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: betula-belarus@mail.ru

Балиюкас Виргилиус – кандидат биомедицинских наук, заведующий отделом генетики и селекции. Институт леса Центра аграрных и лесных наук Литвы (53101, н. п. Гирионис, ул. Липовая, 1, Каунасский р-н, Литовская Республика). E-mail: Virgilijus.Baliuckas@mi.lt

Юшкаускайте Аушра – аспирант, научный сотрудник отдела генетики и селекции. Институт леса Центра аграрных и лесных наук Литвы (53101, н. п. Гирионис, ул. Липовая, 1, Каунасский р-н, Литовская Республика). E-mail: juskauskaite@gmail.com

Information about the authors

Oleg Baranov – PhD (Biology), Leading Researcher, Laboratory of Genetics and Biotechnology. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: betula-belarus@mail.ru

Baliuckas Virgilijus – PhD (Biomedicine), Head of Genetics and Breeding Department. Institute of Forestry of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry (1, Liepu str., 53101, Girionys, Kaunas distr., Republic of Lithuania). E-mail: Virgilijus.Baliuckas@mi.lt

Jushkauskaite Aushra – PhD student, researcher, Genetics and Breeding Department. Institute of Forestry of the Lithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry (1, Liepu str., 53101, Girionys, Kaunas distr., Republic of Lithuania). E-mail: juskauskaite@gmail.com

Поступила 16.02.2015

УДК 578.5:578.89

**И. Э. Рубель¹, О. Ю. Баранов¹, С. В. Пантелеев¹, О. А. Разумова¹,
В. А. Гущин², В. В. Макаров²**

¹ Институт леса Национальной академии наук Беларуси

² Московский государственный университет
имени М. В. Ломоносова

МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВИРУСОПОДОБНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕНОМЕ ХВОЙНЫХ

В статье описывается разнообразие вирусоподобных генетических элементов хвойных. Данные для последующего анализа и поиска вирусоподобных последовательностей в растительном геноме были получены в результате высокопроизводительного секвенирования на основе полупроводниковой детекции протонов (технология Ion Torrent). Приведены общие сведения о схеме секвенирования по этой технологии. В качестве исходного материала использовались геномные и транскриптомные ДНК- и кДНК-библиотеки сосны обыкновенной и ели европейской. Поиск среди полученных протяженных последовательностей проводился путем сопоставления с записями базы данных GenBank (National Center for Biotechnological Information – NCBI), с использованием онлайн-программы BLAST. Был аннотирован ряд последовательностей, имеющих сходство с ранее описанными вирусоподобными генетическими элементами. Среди них – ретротранспозоны групп Ty3/gypsy и Ty1/copia, содержащие длинные концевые повторы (LTR) и широко встречающиеся в геноме ели, а также ретротранспозоны, не содержащие LTR и относящиеся к семейству LINE. При этом все обнаруженные последовательности были уникальными, а большая их часть содержала последовательности различных генов первичного и вторичного метаболизма хвойных, что может косвенно свидетельствовать об их роли в формировании адаптивной изменчивости растений.

Ключевые слова: вирусоподобные генетические элементы, ретротранспозоны, высокопроизводительное секвенирование, хвойные.

**I. E. Rubel¹, O. Baranov¹, S. V. Panteleev¹, O. A. Razumova¹,
V. A. Gushchin², V. V. Makarov²**

¹ Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus

² Lomonosov Moscow State University

MOLECULAR GENETIC ANALYSIS OF VIRUS-LIKE ELEMENTS IN THE GENOME OF CONIFERS

This article describes a variety of virus-like genetic elements of conifers. Data for later analysis and search of the virus-like sequences in the plant genome were obtained by next-generation sequencing based on the semiconductor detection of protons (Ion Torrent technology). General scheme of this sequencing technology was described. Genomic and transcriptomic DNA and cDNA libraries of scotch pine and norway spruce were used as the starting material. Search among the obtained contigs was performed by comparing with the GenBank NCBI database records, using BLAST online tool. A series of sequences with similarity to the previously described virus-like genetic elements was annotated. We have identified the long terminal repeat (LTR)-containing retrotransposons belonging to the Ty3/gypsy and Ty1/copia families, that are ubiquitous throughout the spruce genome, and non-LTR retrotransposons belonging to the LINE family. In this case all detected sequences were unique and most of them contained the sequences of various genes of the primary and secondary metabolism of conifers, which may be indirect evidence of their role in the formation of adaptive variability of plants.

Key words: virus-like genetic elements, retrotransposons, next-generation sequencing, conifers.

Введение. Вирусы растений являются возбудителями инфекционных заболеваний, способны значительно ослаблять растение, ухудшать его хозяйственно ценные признаки [1]. Однако по сравнению с другими возбудителями инфекционных заболеваний фито-вирусы (особенно древесных видов) изучены слабо.

Вирусоподобные генетические элементы (ВГЭ) представляют собой нуклеотидные по-

следовательности, интегрированные в геномную ДНК растительных клеток и имеющие участки (локусы), гомологичные определенным вирусным генам.

Наиболее распространенным типом ВГЭ в геноме как хвойных, так и растений в целом являются ретротранспозоны [2, 3], которые согласно современным представлениям имеют общего предшественника с ретровирусами [4–6].

Однако несмотря на утрату инфекционных свойств, вирусоподобные генетические элементы имеют существенное негативное значение для лесного хозяйства, поскольку результатом их транспозиции могут стать различные нарушения структурно-функциональной организации генома: инсерции, приводящие к образованию транскрипционных разрывов в экзонных участках генов растения или увеличению размеров интронов, а также делеции и транслокации. Это является причиной возникновения нежелательных фенотипических эффектов [7]. ВГЭ являются также одной из причин возникновения выраженной инбредной депрессии у хвойных.

В связи с этим изучение разнообразия вирусоподобных генетических элементов в геноме хвойных представляет определенный интерес.

Основная часть. На начальном этапе исследований проводилось выделение из растительного материала суммарной ДНК модифицированным СТАВ-методом и суммарной РНК при помощи набора реагентов GeneJET Plant RNA Purification Mini Kit (Thermo Scientific). Для последующего создания ДНК-библиотек все образцы РНК были переведены в стабилизированную форму в виде кДНК.

Библиотеки ДНК-фрагментов для последующего секвенирования готовили согласно протоколу фирмы-производителя с использованием набора реактивов Ion Plus Fragment Library Kit (Ion Torrent – Life Technologies). Шесть библиотек были получены с использованием суммарной ДНК сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и три – с использованием кДНК, синтезированной на матрице суммарной РНК ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.). При подготовке библиотек также использовался набор реагентов Ion Library Equalizer Kit, благодаря чему их ожидаемая концентрация должна составлять ≈ 100 рМ.

Качество библиотек фрагментов проверяли с применением методов электрофоретического фракционирования, спектрофотометрии и ПЦР (полимеразной цепной реакции) в режиме реального времени (real-time PCR).

Real-time ПЦР проводили на амплификаторе Stratagene Mx3000P (Agilent Technologies) с использованием готовой смеси Maxima SYBR Green/ROX qPCR Master Mix (Thermo Scientific) и праймеров для амплификации библиотек Library Amplification Primer Mix из набора Ion AmpliSeq Library Kit 2.0 (Ion Torrent – Life Technologies). Данные эксперимента были представлены в виде графика зависимости интенсивности флуоресценции от количества прошедших циклов ПЦР, при этом резкое возрастание интенсивности флуоресценции началось

с 6–10-го цикла, что свидетельствует о достаточной концентрации исходных библиотек.

С целью установления соответствия реального размера полученных библиотек рекомендованному (согласно протоколу E-Gel Size Select Agarose Gels Quick Reference) был проведен электрофоретический анализ. Для него использовался 2%-ный (масса/объем) агарозный гель на основе TBE-буфера, напряженность электрического поля составляла 6 В/см. Гель окрашивался бромистым этидием, оценку данных проводили визуально при помощи УФ-трансиллюминатора. Проведенное электрофоретическое фракционирование выявило отсутствие деградации ДНК в препаратах. Было установлено, что амплифицированные фрагменты библиотек имеют размер более 300, но менее 400 п. н., что соответствует ожидаемому значению, приведенному в протоколе фирмы-производителя (≈ 330 п. н.). Фрагменты размером около 600 п. н., которые также были обнаружены в ходе визуального анализа, являлись конкатемерами, образовавшимися в ходе ПЦР.

Был проведен спектрофотометрический анализ библиотек для секвенирования, который показал, что средняя концентрация полученных препаратов нуклеиновых кислот библиотек находилась в пределах 4,5–7,5 нг/мкл образца. Соотношение экстинкций A_{260}/A_{280} находилось в диапазоне 1,83–2,10, что указывает на высокую степень очистки препаратов ДНК.

Далее готовили матрицу для секвенирования с использованием полученных библиотек. Секвенирование выполнялось на полногеномном анализаторе Ion PGM System (Life Technologies). Все этапы подготовки проводили в соответствии с инструкцией фирмы-производителя, с использованием наборов реагентов, поставляемых вместе с оборудованием.

На следующем этапе проводили отмывку микрочастиц, не несущих амплифицированной ДНК (стадия обогащения). Данная операция осуществлялась с использованием системы автоматической пробоподготовки Ion OneTouch ES и наборов реагентов Ion PGM Template OT2 Solutions 200 Kit, Ion PGM Enrichment Beads (Life Technologies).

Секвенирующая реакция протекала на чипе Ion 314 Chip v2. Финальную пробоподготовку и загрузку чипа проводили в соответствии с протоколом фирмы-производителя.

Первичная обработка данных, поступающих от геномного анализатора Ion PGM System, осуществлялась в автоматическом режиме при помощи программного обеспечения Ion Torrent Suite, поставляемого вместе с оборудованием.

В результате первичного анализа были получены следующие показатели для различных

образцов: плотность загрузки чипа – от 60 до 92%, доля моноклональных микросфер – 70–87%, доля пустых микросфер – 1–5%, а большая часть полученных прочтений (reads) имела длину от 206 до 269 п. н.

Количество полученных в результате секвенирования парноконцевых чтений варьировалось от 695 467 до 923 775. Оценка качества полученных последовательностей, а также удаление из сиквенсов последовательностей праймеров и адаптеров осуществлялись автоматически в ходе постобработки первичных данных программным комплексом Ion Torrent Suite. Из массива данных удалялись последовательности короче 20 п. н., а также с показателем качества $Q < 20$ (т. е. с вероятностью ошибки секвенирования более 1%). Таким образом, для каждого образца было получено 273 181–394 954 высококачественных парноконцевых чтений или 45,3–65,1 млн п. н.

Сборка парноконцевых чтений в протяженные последовательности (контиги) осуществлялась при помощи программы DNASTAR SeqMap NGen 12. Для различных библиотек число полученных контигов составляло от 13 711 до 27 712.

Поиск перспективных последовательностей для дальнейшего анализа проводился путем сопоставления всех контигов с последовательностями базы данных GenBank [8] с использованием программного комплекса BLAST [9], размещенного на этом сервере, при этом поиск осуществлялся по базе данных нуклеотидных последовательностей (nucleotide blast), а в качестве определяющего параметра поиска с целью расширить выборку была выбрана опция «поиск по частичному сходству» (somewhat similar sequences (blastn)).

В результате был выявлен 81 контиг – потенциальные кандидаты в вирусы и вирусоподобные генетические элементы.

Предварительно стоит отметить, что ретротранспозоны подразделяются на две группы: элементы, содержащие длинные концевые повторы (long terminal repeat – LTR), и элементы, не содержащие их [10, 11]. Среди последних различают длинные диспергированные повторы (LINE – long interspersed elements) и короткие диспергированные повторы (SINE – short interspersed elements) [12]. В свою очередь, среди

всех ретротранспозонов в геномах эукариот наибольшее распространение получили мигрирующие генетические элементы, содержащие длинные концевые повторы.

Проведенный анализ выявил большое количество контигов, имеющих сходство с различными типами мигрирующих генетических элементов. При этом 74 из идентифицированных последовательностей относились к LTR-содержащим ретротранспозонам группы Ty3/gypsy (семейство Metaviridae), а 2 контига – к группе Ty1/copia (Pseudoviridae).

Также было выявлено 5 контигов, относящихся к ретротранспозонам семейства LINE, представляющих собой альтернативную группу мигрирующих генетических элементов, не содержащих в своей нуклеотидной структуре длинные концевые повторы.

Стоит обратить внимание, что наибольшая часть (91%) контигов, идентифицированных как участки LTR-ретротранспозонов, относилась к семейству Ty3/gypsy.

Также следует отметить, что все выявленные последовательности являлись уникальными, что указывает на их самостоятельность. При этом большая часть ретротранспозонов ели европейской содержала последовательности различных генов первичного и вторичного метаболизма: 3-каренисинтазы, энт-каурен-синтазы, цитохрома P450 подсемейства CYP720B и др., что указывает на их определенную роль в формировании адаптивной изменчивости хвойных.

Заключение. В результате была аннотирована 81 последовательность, среди них было выявлено сходство с LTR-содержащими ретротранспозонами групп Ty3/gypsy и Ty1/copia, описанных ранее для ели, а также ретротранспозонами, не содержащими LTR и относящимися к семейству LINE. При этом все выявленные последовательности оказались уникальными, а большая их часть содержала участки различных генов первичного и вторичного метаболизма хвойных, что может свидетельствовать об их роли в формировании адаптивной изменчивости растений.

Полученные результаты могут представлять интерес для генетики и селекции лесных древесных видов, расширить знания о вирусоподобных генетических элементах хвойных и их значении.

Литература

1. Gonthier P., Nicolotti G. Infectious Forest Disease. Croydon (UK): CPI Group Publ., 2013. 641 p.
2. Copia-like retrotransposons are ubiquitous among plants / D. F. Voytas [et al.] // PNAS USA. 1992. Vol. 89. P. 7124–7128.
3. Suoniemi A., Tanskanen J., Schulman A. H. Gypsy-like retrotransposons are widespread in the plant kingdom // Plant Journal. 1998. Vol. 13. P. 699–705.
4. Xiong Y., Eickbush T. H. Origin and evolution of retroelements based upon their reverse transcriptase sequences // EMBO Journal. 1990. Vol. 9. P. 3353–3362.

5. Retrovirus phylogeny and evolution / R. F. Doolittle [et al.] // *Curr. Top. Microbiol. Immunol.* 1990. Vol. 157. P. 1–18.
6. Schulman A. H., Flavell A. J., Noel Ellis T. H. The Application of LTR Retrotransposons as Molecular Markers in Plants // *Methods in Molecular Biology*. 2004. Vol. 260. P. 145–173.
7. Vandenbussche M., Gerats T. TE-Based Mutagenesis Systems in Plants // *Methods in Molecular Biology*. 2004. Vol. 260. P. 115–127.
8. The National Center for Biotechnology Information (NCBI) [Electronic resource]. URL: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/> (date of access: 12.01.2016).
9. Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) [Electronic resource]. URL: <http://blast.stva.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (date of access: 13.01.2016).
10. Grandbastien M.-A. Retroelements in higher plants // *Trends Genet.* 1992. Vol. 8. P. 103–108.
11. Bennetzen J. L. The contributions of retroelements to plant genome organization, function and evolution // *Trends Microbiol.* 1996. Vol. 4. P. 347–353.
12. Schmidt T. LINEs, SINEs and repetitive DNA: non-LTR retrotransposons in plant genomes // *Plant Mol. Biol.* 1999. Vol. 40. P. 903–910.

References

1. Gonthier P., Nicolotti G. Infectious Forest Disease. Croydon (UK), CPI Group Publ., 2013. 641 p.
2. Voytas D. F., Cummings M. P., Konieczny A. K., Ausubel F. M., Rodermel S. R. Copia-like retrotransposons are ubiquitous among plants. *PNAS USA*, 1992, vol. 89, pp. 7124–7128.
3. Suoniemi A., Tanskanen J., Schulman A. H. Gypsy-like retrotransposons are widespread in the plant kingdom. *Plant Journal*, 1998, vol. 13, pp. 699–705.
4. Xiong Y., Eickbush T. H. Origin and evolution of retroelements based upon their reverse transcriptase sequences. *EMBO Journal*, 1990, vol. 9, pp. 3353–3362.
5. Doolittle R. F., Feng D. F., McClure M. A., Johnson M. S. Retrovirus phylogeny and evolution. *Curr. Top. Microbiol. Immunol.*, 1990, vol. 157, pp. 1–18.
6. Schulman A. H., Flavell A. J., Noel Ellis T. H. The Application of LTR Retrotransposons as Molecular Markers in Plants. *Methods in Molecular Biology*, 2004, vol. 260, pp. 145–173.
7. Vandenbussche M., Gerats T. TE-Based Mutagenesis Systems in Plants. *Methods in Molecular Biology*, 2004, vol. 260, pp. 115–127.
8. The National Center for Biotechnology Information (NCBI) [Electronic resource]. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/genbank/> (accessed 12.01.2016).
9. Basic Local Alignment Search Tool (BLAST) [Electronic resource]. Available at: <http://blast.stva.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (accessed 13.01.2016).
10. Grandbastien M.-A. Retroelements in higher plants. *Trends Genet.* 1992, vol. 8, pp. 103–108.
11. Bennetzen J. L. The contributions of retroelements to plant genome organization, function and evolution. *Trends Microbiol.*, 1996, vol. 4, pp. 347–353.
12. Schmidt T. LINEs, SINEs and repetitive DNA: non-LTR retrotransposons in plant genomes. *Plant Mol. Biol.*, 1999, vol. 40, pp. 903–910.

Информация об авторах

Рубель Илья Эдуардович – младший научный сотрудник лаборатории генетики и биотехнологии. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: illiarubel@yahoo.com

Баранов Олег Юрьевич – кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории генетики и биотехнологии. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: betula-belarus@mail.ru

Пантелеев Станислав Викторович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и биотехнологии. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: pukidesu@gmail.com

Разумова Ольга Александровна – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории генетики и биотехнологии. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246001, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: o-kovalevich@mail.ru

Гущин Владимир Алексеевич – кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры вирусологии биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова (119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Российская Федерация). E-mail: wowaniada@gmail.com

Макаров Валентин Владимирович – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела физических методов измерений. НИИ физико-химической биологии имени А. Н. Бело-

зерского МГУ имени М. В. Ломоносова (119991, г. Москва, ул. Ленинские горы, д. 1, стр. 40, Российская Федерация). E-mail: makarovvalentine@gmail.com

Information about the authors

Rubel' Il'ya Eduardovich – Junior Researcher, the Laboratory of Genetics and Biotechnology. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: illiarubel@yahoo.com

Baranov Oleg – PhD (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, the Laboratory of Genetics and Biotechnology. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: betula-belarus@mail.ru

Panteleev Stanislav Victorovich – PhD (Biology), Senior Researcher, the Laboratory of Genetics and Biotechnology. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: pukidesu@gmail.com

Razumova Ol'ga Aleksandrovna – PhD (Biology), Senior Researcher, the Laboratory of Genetics and Biotechnology. Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246001, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: o-kovalevich@mail.ru

Gushchin Vladimir Alekseevich – PhD (Biology), researcher, the Department of Virology. Faculty of the Biology of the Lomonosov Moscow State University (1-12, Leninskiye Gory str., 119991, Moscow, Russian Federation). E-mail: wowaniada@gmail.com

Makarov Valentin Vladimirovich – PhD (Biology), Senior Researcher, Physical Measurement Methods Department. Belozersky Research Institute of Physico-Chemical Biology of Lomonosov Moscow State University (1-40, Leninskiye Gory str., 119991, Moscow, Russian Federation). E-mail: makarovvalentine@gmail.com

Поступила 29.03.2016

УДК 630*232

О. А. Селищева, В. В. Носников

Белорусский государственный технологический университет

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСКУССТВЕННОГО ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАСАЖДЕНИЙ ЛИПЫ МЕЛКОЛИСТНОЙ

Приведена технология искусственного восстановления насаждений липы мелколистной, которая включает все этапы получения посадочного материала для создания лесных культур – от заготовки лесосеменного сырья и до получения стандартных сеянцев или саженцев липы мелколистной. Изучены вопросы по срокам оптимального сбора орешков липы, условий хранения, предпосевной подготовки семян и их высева, проведения комплекса мероприятий по созданию оптимальных условий для роста растений. В современном лесном хозяйстве актуальным является лесовозобновление липы естественным и искусственным путем. Липа хорошо возобновляется вегетативно – порослью от пней, отводками и корневыми отпрысками. Поросль отличается быстрым ростом и размерами листьев. Лесосеки липового хозяйства возобновляются липой без смены пород. Липа является спутником дуба, клена, ясеня, сосны, ели. Создает благоприятные условия для роста лиственницы и осины. При создании лесных культур наиболее часто создают чистые липняки. При создании смешанных насаждений липу чередуют с кленом или елью. В качестве посадочного материала используют сеянцы 2-летнего возраста или саженцы 3-летки. Насаждения целесообразно создавать на богатых почвах – на свежих суглинках и супесях с суглинистыми прослойками.

Ключевые слова: посадочный материал, лесовозобновление, искусственное насаждение, дерево-спутник, схема посадки.

O. A. Selishcheva, V. V. Nosnikov

Belarusian State Technological University

THE TECHNOLOGICAL ASPECTS OF ARTIFICIAL REFORESTATION OF LINDEN PLANTATIONS

The technology of artificial regeneration of linden plants, which includes all the steps of providing materials for planting from harvesting of forest seed material to producing standard seedlings or saplings of linden. All the questions of the optimal timing for lime nuts collecting, storage conditions, seedbed preparation and sowing of seeds and a set of measures to create optimal conditions for plant growth. Are studied in modern forestry reforestation of linden in natural way is relevant and artificial. Tilia is well reproduced vegetatively: shoots from the stumps, cuttings and root suckers. Growth differs in rapid growth and size of leaves. Cutting areas of lime linden are reproduced without changing rocks. Tilia is the companion of oak, maple, ash, pine and spruce. It creates favorable conditions for the growth of larch and aspen. When most commonly pure linden forest plantations. When creating mixed plantations lime alternate with maple or spruce. As seedlings of the age of two or three-year planting material used. It is worthwhile to create planting on the rich soils, on fresh loam and sandy loam to loamy interlayers.

Key words: planting material, regeneration, artificial planting, tree companion, planting scheme.

Введение. Липа мелколистная является перспективной породой для широкого введения в лесокультурное производство. Ценность данного вида заключается в высокой декоративности (используется при озеленении городов), широком применении в народном хозяйстве и медицине [1]. Одно из главных достоинств липы – нектароносность. Липа является спутником дуба, клена, выполняя в насаждениях функции подгона и активно влияя на почвенное плодородие. Хорошо произрастает в насаждениях с сосной, елью, лиственницей. Известно, что насаждения с участием липы мелколистной в составе древостоев отличаются высокой производительностью, а запас липняков к 40–50-летнему возрасту может достигать $\geq 300 \text{ м}^3/\text{га}$ [2].

В настоящее время площадь липняков в Беларуси составляет 4087,6 га (0,04% от общей площади лесного фонда) с запасом древесины около 281,2 тыс. м^3 (0,016% от общего запаса насаждений). Но в тоже время перспективность введения данной древесной породы в лесокультурное производство ограничивается отсутствием комплексных исследований по ее искусственному восстановлению.

В современном лесном хозяйстве актуальным является лесовозобновление липы естественным и искусственным путем [3]. Формирование насаждений естественным путем происходит следующим образом – после проведения рубки в насаждениях липы вокруг пня формируется поросль, которая впоследствии густо

заселяет лесосеку и заглушает собой самосев и подрост хвойных пород.

При создании насаждений искусственного происхождения необходимо наличие большого количества посадочного материала, выращивание которого возможно только при создании оптимальных условий для роста растений.

Сеянцы липы мелколистной выращивают в посевном отделении питомника обычно в течение двух лет.

Известно, что липа мелколистная размножается семенным и вегетативным (порослью, отводками, корневыми отпрысками, стеблевыми черенками [4]) путем, однако в лесокультурной практике наиболее часто липу мелколистную размножают путем высева семян.

Основная часть. При заготовке семян липы мелколистной, как правило, применяется осенний сбор сырья. Оптимальными месяцами, когда происходит полное созревание плодов, являются сентябрь – октябрь. Морфологическим признаком, показывающим созревание семян, является окрашивание плодов в серый цвет с чуть зеленоватым оттенком. По нашим данным, лучший срок сбора семян липы – период перехода цвета плодов с зеленого в серый, когда они еще не высохли [5]. Заготовку лесосеменного сырья липы мелколистной проводят с растущих деревьев при достижении семенами зрелости.

При закладке на хранение семена липы должны иметь влажность 10–12% [6, 7]. Хранят семена при температуре 0–5°C в ящиках с песком [8]. Продолжительность сохранения всхожести орешков – не более трех лет [9, 10].

Высев семян липы мелколистной можно производить осенью, весной и летом. Средняя норма высева на 1 п. м семян 1-го класса – 5,0–6,0 г, 2-го класса – 6,5–7,2 г, 3-го класса – 8,5–9,6 г [11]. Минимальный вес 1000 семян может составлять 16–21 г, максимальный – 43–48 г [12]. По нашим данным, масса 1000 шт. свежесобранных в конце октября семян составляет 31,8 г. Доброкачественность семян 1-го класса качества должна быть не менее 85%, 2-го – 70%, 3-го – 55%. Чистота семян – не менее 96% [13, 14].

Ранней осенью высевают свежесобранные семена, которые достигли физиологической зрелости, поздней осенью – семена, стратифицированные с середины лета в летних траншеях, весной – семена, стратифицированные в течение 6 месяцев (60 дней при температуре 5°C, затем 90–120 дней при 0°C). В конце лета можно производить высев семян, собранных в прошлом году [8].

Перед осенним посевом рекомендовано семена сбора прошлого года замачивать 8–10 дней и стратифицировать в летних траншеях или погребках в течение 90 дней. Перед весенним по-

севом семена стратифицируют в песке или торфе при температуре 0°C 180–200 дней или намоченные в воде 8–10 дней семена стратифицируют 30 дней при температуре +15–25°C и 60–90 дней под снегом [13, 14].

Мы же рекомендуем следующие способы высева семян: высев свежесобранных семян липы (сбор на стадии физиологической зрелости при побурении оболочки орешков) с целью прохождения ими стадии теплой стратификации в почве, массовые всходы семян (65–70%) появляются весной следующего года; сбор семян весной в первой половине апреля и стратификация их в песке до высева, высев семян – в конце сентября – начале октября, массовые всходы семян (70–72%) появляются также весной следующего года.

Высевают семена липы мелколистной рядовым (рядки делают на расстоянии 15–20 см друг от друга), строчным или широколенточным (с шириной ленты до 20 см) способами [5]. На 1 п. м высевают по 100–300 шт. семян. Высев производят на глубину 1–3 см.

После высева семян рекомендуется произвести мульчирование посевных лент торфом или опилками. В течение вегетационного периода проводят внекорневые подкормки с использованием кристалона.

При выращивании посадочного материала в закрытом грунте рекомендуется высевать полностью созревшие свежесобранные семена. Весной следующего года всхожесть семян составляет около 70%. При этом сеянцы, выращенные в закрытом грунте, имеют средние показатели высоты около 70 см, диаметра у корневой шейки – около 6,76 мм. Средняя длина корневой системы составляет 16,5 см.

При выращивании посадочного материала в закрытой корневой системой рекомендуется также производить осенний высев семян. Кислотность субстрата должна быть 6–6,5. После высева семян необходимо производить поливы (не допускается пересыхание субстрата). В течение вегетационного сезона рекомендуем производить подкормки водорастворимыми комплексными удобрениями со сбалансированным соотношением макро- и микроэлементов на хелатной основе без содержания хлора. По нашим исследованиям, это позволит повысить биометрические показатели сеянцев по высоте на 33%, по диаметру корневой шейки – на 12%. В конце вегетационного сезона сеянцы имеют среднюю высоту 28,6 см, диаметр у корневой шейки – 7,78 мм.

Стандартный сеянец липы должен иметь толщину стволика у корневой шейки не менее 3,0 и 4,0 мм, а высоту надземной части не менее 12,0 и 15,0 см для подзон смешанных и широколиственных лесов соответственно. Длина корневых

систем должна быть не менее 10, 15 и 20 см для посадки на почвах с избыточным, нормальным или недостаточным увлажнением соответственно. Выход с 1 га площади стандартных сеянцев липы мелколистной составляет 450–600 тыс.

При необходимости получения саженцев минимальный возраст их выращивания увеличивается до 3–4 лет. Стандартные саженцы для подзон смешанных и широколиственных лесов должны иметь толщину стволика у корневой шейки не менее 9 и 8 мм, высоту надземной части не менее 50 и 35 см (для 1-го сорта), толщину стволика у корневой шейки не менее 5 мм, высоту надземной части не менее 30 и 25 см (для 2-го сорта). Длина корневых систем в условиях с избыточным и нормальным увлажнением должна быть не менее 20 см, а с недостаточным – не менее 25 см [13].

Липа мелколистная хорошо произрастает в условиях свежих и влажных судубрав и дубрав. Не растет на заболоченных, холодных, бедных, засоленных почвах, почвах с длительным затоплением [15]. По нашим данным, насаждения липы могут также произрастать и на песчаных почвах, но в более богатых условиях произрастания дают больший средний прирост по запасу.

Основным методом создания искусственных насаждений липы мелколистной является посадка. Как правило, создают лесные культуры сеянцами 2-летнего возраста [8], но также используют и саженцы 3-летнего возраста.

Липу мелколистную рекомендуется вводить в состав смешанных лесных культур в качестве спутника сосны, дуба, ели. Используют следующий способ смешения: ряд главной породы чередуют с рядом липы. Ширина междурядий

составляет 2,0–2,5 м, а шаг посадки – 0,5–0,7 м. При создании лесных культур липы мелколистной с лиственницей и елью применяют следующее смешение: ряд лиственницы в ряду с липой чередуют с рядом ели. Схема посадки – междурядья – 2,5 м, в ряду между лиственницей и липой – 1,0 м, между елями – 0,5–0,7 при посадке сеянцев или – 1,0 м при посадке саженцев [16]. В составе смешанных лесных культур хвойных пород участие липы не должно превышать 30%. При посадке рекомендуют использовать 3–4-летние саженцы [17]. В дубовых насаждениях рекомендуется вводить липу только в качестве подгона, так как при одинаковых условиях произрастания последняя растет быстрее и может заглушить дуб. Липа хорошо растет при смешении с кленом и ясенем, буком и грабом [18].

Чистые насаждения искусственного происхождения липы мелколистной целесообразно проектировать при формировании хозяйственно-целевых нектарных насаждений, в парках общего пользования, в городских лесах.

При озеленении городов липу широко вводят как в групповых, так и в одиночных посадках, при создании живых изгородей.

Обработка почвы производится полосами с использованием плугов сельскохозяйственного или общего назначения, специальными орудиями. На землях с избыточным увлажнением обработку почвы проводят путем создания микроповышений двухотвальными плугами. Посадку культур осуществляют вручную, используя лопату.

Наиболее распространенные типы лесных культур в лесхозах республики приведены в нормативно-технологических картах (табл. 1–3).

Таблица 1

Нормативно-технологическая карта на создание чистых лесных культур липы мелколистной.

**Тип условий местопроизрастания С₂, Д₂, категория лесокультурной площади – «а»,
схема посадки – 2,5×0,75 м, исходная густота – 5333 шт./га. Длина гона – 151–300 м.**

Посадочный материал – сеянцы 2-летнего возраста

Наименование работ	Объем работ	Состав агрегата	Тарифный разряд, количество рабочих	Норма выработки	Требуется		Норма по РНВ-2000
					маш.-смен	чел.-дней	
Обработка почвы, га	1,00	МТЗ-1221, Л-134	V – 1	7,5	0,13	0,13	362
Обработка корневой системы сеянцев раствором корпансила	5,33	Вручную	II – 1	38,9	–	0,14	1376
Подвозка сеянцев, тыс. шт.	5,33	УАЗ-3303	VI – 1	37,20	0,14	0,14	–
Прикопка сеянцев, тыс. шт.	5,33	Вручную	II – 1	35,00	–	0,15	1771
Посадка сеянцев, тыс. шт.	5,33	Вручную	IV – 2	0,255	–	10,45	1772
Дополнение культур (20%)	1,07	Вручную	IV – 1	0,618	–	1,73	1789
Агротехнические уходы по схеме 1–2–2–1, га	6,00	МТЗ-82.1, КЛБ-1,7	IV – 1	7,3	0,82	0,82	845
Лесоводственный уход, га	1,00	Мотокустореж Stihl	VI – 1	0,31	3,23	3,23	935
<i>Итого</i>	–	–	–	–	4,32	16,79	–

Таблица 2

Нормативно-технологическая карта на создание смешанных лесных культур липы мелколистной с елью европейской. Тип условий местопроизрастания – С₂, Д₂, категория лесокультурной площади – «б», схема посадки – 3,0×1,3 м, схема смешения – 2 р. Е 1 р. Лп, исходная густота – 2564 шт./га. Длина гона – 151–300 м. Посадочный материал – саженцы 3-летнего возраста

Наименование работ	Объем работ	Состав агрегата	Тарифный разряд, количество рабочих	Норма выработки	Требуется		Номер нормы по РНВ-2000
					маш.-смен	чел.-дней	
Обработка почвы, га	1,00	МТЗ-1221, FC-045	V – 1	7,00	0,14	0,14	234
Обработка корневой системы саженцев раствором корпансила	2,56	Вручную	II – 1	38,9	–	0,07	1376
Подвозка саженцев, тыс. шт.	2,56	УАЗ-3303	VI – 1	37,20	0,07	0,07	–
Временная прикопка саженцев, тыс. шт.	2,56	Вручную	II – 1	3,05	–	0,84	1480
Посадка саженцев, тыс. шт.	2,56	Вручную	IV – 1	0,255	–	10,00	1772
Дополнение культур (20%)	0,51	Вручную	IV – 1	0,618	–	0,83	1789
Агротехнические уходы по схеме 1–1–1–0, га	3,00	МТЗ-82.1, КЛБ-1,7	IV – 1	4,8	0,63	0,63	877
Лесоводственный уход, га	1,00	Мотокусто-рез Stihl	VI – 1	0,31	3,23	3,23	935
<i>Итого</i>	–	–	–	–	<i>4,07</i>	<i>15,81</i>	–

Таблица 3

Нормативно-технологическая карта на создание смешанных лесных культур липы мелколистной с кленом остролистным. Тип условий местопроизрастания – С₂, Д₂, категория лесокультурной площади – «б», схема посадки – 3,0×2,0 м, схема смешения – 1 р. Кл 1р. Лп, исходная густота – 1667 шт./га. Длина гона – 151–300 м. Посадочный материал – саженцы 3-летнего возраста

Наименование работ	Объем работ	Состав агрегата	Тарифный разряд, количество рабочих	Норма выработки	Требуется		Номер нормы по РНВ-2000
					маш.-смен	чел.-дней	
Обработка почвы, га	1,00	МТЗ-1221, FC-045	V – 1	7,00	0,14	0,14	234
Обработка корневой системы саженцев раствором корпансила	1,67	Вручную	II – 1	38,9	–	0,04	1376
Подвозка саженцев, тыс. шт.	1,67	УАЗ-3303	VI – 1	37,20	0,04	0,04	–
Временная прикопка саженцев, тыс. шт.	1,67	Вручную	II – 1	3,05	–	0,55	1480
Посадка саженцев, тыс. шт.	1,67	Вручную	IV – 1	0,255	–	6,55	1772
Дополнение культур (20%)	0,33	Вручную	IV – 1	0,618	–	0,53	1789
Агротехнические уходы по схеме 1–1–1–0, га	3,00	МТЗ-82.1, КЛБ-1,7	IV – 1	4,8	0,63	0,63	877
Лесоводственный уход, га	1,00	Мотокусто-рез Stihl	VI – 1	0,31	3,23	3,23	935
<i>Итого</i>	–	–	–	–	<i>4,04</i>	<i>11,71</i>	–

Заключение. Липу мелколистную размножают семенным и вегетативным путем, однако в лесокультурной практике наиболее часто применяют высев семян. При высеве свежесобранных осенью семян их сбор необходимо производить на стадии физиологической зрелости при побурении оболочки орешков (начало сентября).

При весеннем высеве собирают орешки в конце октября – начале ноября и стратифицируют их в ящиках с песком до высева. При выращивании сеянцев в посевном отделении питомника рекомендуется в течение вегетационного сезона проводить поливы (чтобы сеянцы не пересыхали) и подкормки с использованием водорастворимых

комплексных удобрений со сбалансированным соотношением макро- и микроэлементов на хелатной основе без содержания хлора.

При создании насаждений искусственного происхождения рекомендуется создавать чистые липняки на участках, которые в дальнейшем будут использованы для формирования хозяйственно ценных нектарных насаждений, в лесах зеленых зон. При создании смешанных

лесных культур липу следует вводить с такими породами, как сосна, ель, лиственница, клен. Также липа хорошо растет при смешении с ясенем, буком и грабом. Долевое участие липы не должно превышать 50%. При произрастании липы с дубом в одинаковых условиях она растет быстрее и препятствует росту и развитию последнего. Поэтому в дубняках рекомендуется вводить липу только в качестве подгона.

Литература

1. Timonen S., Kauppinen P. Mycorrhizal colonisation patterns of Tilia trees in street, nursery and forest habitats in southern Finland // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2008. Vol. 7, issue 4. P. 265–276.
2. Зайнуллов И. А., Залесова Е. С. Характеристика липняков в подзоне предлесостепных сосново-березовых лесов Западной Сибири // *Леса и лесное хозяйство Западной Сибири*. 2006. Вып. 7. С. 85–91.
3. Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Праходский А. Н. Лесные культуры и защитное лесоразведение. Минск: БГТУ, 2007. 312 с.
4. Lawesson J. E., Oksanen J. Niche Characteristics of Danish woody species as derived from coenoclines // *Journal of Vegetation Science*. 2002. Vol. 13, issue 2. P. 279–290.
5. Носников В. В., Волкович А. П. Особенности выращивания посадочного материала липы мелколистной // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во*. 2008. Вып. XVI. С. 194–195.
6. Родин А. Р. Лесные культуры и лесомелиорация: учеб. пособие для лесхозов-техникумов, лесных и лесотехн. техникумов. М.: Экология, 1975. 208 с.
7. Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych // *Centrum informacyjne lasów państwowych*. 2006. 673 p.
8. Огиевский В. В., Родин А. Р., Рубцов Н. И. Лесные культуры и мелиорация: учеб. для вузов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Экология, 1974. 376 с.
9. Заборовский Е. П. Плоды и семена древесных и кустарниковых пород. М.: Гослесбумиздат, 1962. 303 с.
10. Szabla K., Pabian R. Szkiłkarstwo kontenerowe // *Nowe technologie i techniki w szkółkarstwie leśnym*. Warszawa, 2009. 253 pp.
11. Заборовский Е. П. Лесные культуры. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 451 с.
12. Минин Д. Д. Хранение и подготовка семян древесных и кустарниковых пород. М.: Сельхозиздат, 1962. 120 с.
13. Новосельцева А. И., Смирнов Н. А. Справочник по лесным питомникам. М.: Лесная пром-сть, 1983. 280 с.
14. ТКП 575-2015/ПР1. Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых видов в лесных питомниках Республики Беларусь = Настаўленне па вырошчванні пасадкачага матэрыялу драўняных і хмызняковых відаў у лясных гадавальніках Рэспублікі Беларусь. Введ. 15.12.2015. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2015. 60 с.
15. Лисицына А. А. Влияние засоления почвы на состояние липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в аллейных посадках Санкт-Петербурга // Биологическое разнообразие, озеленение, лесопользование: материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых, Санкт-Петербург, 11–12 нояб. 2008 г. / С.-Петер. гос. лесотехн. акад. СПб., 2008. С. 127–130.
16. Савченко А. И. Подготовка к посеву семян лесобразующих пород. Минск: Ураджай, 1977. 95 с.
17. Родин А. Р. Лесные культуры и лесомелиорация: учеб. для техникумов. М.: Лесная пром-сть, 1979. 328 с.
18. Application of a Kohonen's self-organizing map for evaluation of long-term changes in forest vegetation / J. J. Adamczyk [et al.] // *Journal of Vegetation Science*. 2012. Vol. 24, issue 2. P. 405–414.

References

1. Timonen S., Kauppinen P. Mycorrhizal colonisation patterns of Tilia trees in street, nursery and forest habitats in southern Finland. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2008, vol. 7, issue 4, pp. 265–276.
2. Zaynullov I. A., Zalesova E. S. Characteristics of the lime-free prednisolene in the subzone of pine-birch forests of Western Siberia. *Lesa i lesnoye khozyaystvo Zapadnoy Sibiri* [Forests and forestry in Western Siberia], 2006, issue 7, pp. 85–91 (In Russian).

3. Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Prahodskiy A. N. *Lesnye kul'tury i zashchitnoye lesorazvedeniye* [Forest plantations and protective wood cultivation]. Minsk: BGTU Publ., 2007. 312 p.
4. Lawesson J. E., Oksanen J. Niche characteristics of Danish woody species as derived from coenoclines. *Journal of Vegetation Science*, 2002, vol. 13, issue 2, pp. 279–290.
5. Nosnikov V. V., Volkovich A. P. Features of cultivation of planting material Linden. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry, 2008, issue XVI, pp. 194–195 (In Russian).
6. Rodin A. R. *Lesnyye kul'tury i lesomelioratsiya* [Forest plantations and forest melioration]. Moscow, Ekologiya Publ., 1975. 208 p.
7. Elements of genetics and breeding of forest trees. *Centrum informacyjne lasów państwowych* [Information center of state forests], 2006, 673 p. (In Polish).
8. Ogiyevski V. V., Rodin A. R., Rubtsov N. I. *Lesnyye kul'tury i melioratsiya* [Forest plantations and land reclamation]. Moscow: Ekologiya Publ., 1974. 376 p.
9. Zaborovskiy E. P. *Plody i semena drevesnykh i kustarnikovykh porod* [The fruits and seeds of trees and shrubs]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 303 p.
10. Szabla K., Pabian R. Growing in containers. Nowe technologie i techniki w szkółkarstwie leśnym. Warszawa, 2009. 253 p.
11. Zaborovskiy E. P. *Lesnyye kul'tury* [Forest plantations]. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1949. 451 p.
12. Minin D. D. *Khraneniye i podgotovka semyan drevesnykh i kustarnikovykh porod* [Storage and preparation of seeds of tree and shrub species]. Moscow, Sel'khozizdat Publ., 1962. 120 p.
13. Novosel'tseva A. I., Smirnov N. A. *Spravochnik po lesnym pitomnikom* [Handbook of forest nurseries]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 280 p.
14. ТКР 575-2015/PR1. The manual on the growing of planting material of tree and shrub species in forest nurseries of the Republic of Belarus. Minsk, Ministerstvo lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' Publ., 2015. 60 p. (In Russian).
15. Lisitsyna A. A. Effect of soil salinity on the state of linden (*Tilia cordata* Mill.) in avenue plantings of St. Petersburg]. *Materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh "Biologicheskoye raznoobraziye, ozeleneniye, lesopol'zovaniye"* [Materials of the international scientific-practical conference of young scientists "Biodiversity, planting, forest management"]. St. Petersburg, 2008, pp. 127–130 (In Russian).
16. Savchenko A. I. *Podgotovka k posevu semyan lesoobrazuyushchikh porod* [Preparation for sowing the seeds of tree species]. Minsk, Uradzhay Publ., 1977. 95 p.
17. Rodin A. R. *Lesnyye kul'tury i lesomelioratsiya* [Plantations and forest melioration]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1979. 328 p.
18. Adamczyk J. J., Kurzac M., Park Y.-S., Kruk A. Application of a Kohonen's self-organizing map for evaluation of long-term changes in forest vegetation. *Journal of Vegetation Science*, 2012, vol. 24, issue 2, pp. 405–414.

Информация об авторах

Селищева Оксана Александровна – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: oksana_selishcheva@rambler.ru

Носников Вадим Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: nosnikov@belstu.by

Information about the authors

Selishcheva Oksana Aleksandrovna – PhD student, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oksana_selishcheva@rambler.ru

Nosnikov Vadim Valer'evich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nosnikov@belstu.by

Поступила 01.11.2016

УДК 630*232.324

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

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЕЙ РОСТА САЖЕНЦЕВ ЕЛИ ЕВРОПЕЙСКОЙ
В УПЛОТНЕННОЙ ШКОЛЕ**

Приведены результаты исследований влияния возраста и условий выращивания сеянцев ели на показатели роста после пересадки в уплотненную школу. Наиболее высокие биометрические показатели имели саженцы в уплотненной школе, созданной посадкой двухлетних сеянцев ели в открытый грунт в начале августа. Саженцы августовской посадки имели преимущество в росте по сравнению с саженцами сентябрьской посадки. Саженцы ели из посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) имели более высокие биометрические показатели по сравнению с саженцами, выращенными из однолетних сеянцев из теплицы и двухлетних сеянцев открытого грунта с посадкой в начале сентября.

Наиболее высокий показатель энергии роста наблюдался у саженцев уплотненной школы, заложенной сеянцами с закрытой корневой системой. Это свидетельствует о том, что в этом случае наиболее успешно происходит адаптация растений к новым условиям местопроизрастания. В школе, которая создана однолетними сеянцами ели, выращенными в теплице, энергия роста саженцев была в 2 раза ниже, чем у саженцев, выращенных из сеянцев с закрытой корневой системой. Двухлетние сеянцы ели открытого грунта имели более высокую энергию роста при посадке в августе, по сравнению с посадкой в сентябре, но уступали сеянцам с закрытой корневой системой.

Ключевые слова: школа уплотненная, ель европейская, саженец, показатели биометрические, энергия роста.

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

Belarusian State Technological University

**EVALUATION OF GROWTH PERFORMANCE
OF NORWAY SPRUCE SEEDLINGS IN NURSERIES**

The results of studies on the effect of age and growing conditions of spruce seedlings on their growth after transplanting in nurseries are presented. The highest biometric parameters have two-year seedlings of spruce in open ground planted in early August. These seedlings had an advantage in growth compared with seedlings planted in September. Saplings of firs, which are created by planting material with closed root system had higher biometric parameters compared with seedlings of the one-year spruce seedlings from the nurseries and two year old spruce seedlings in open ground planted in early September.

The highest rate of energy growth of seedlings with closed root system was observed the nurseries. This indicates that in this case, the most successful is the adaptation of seedlings to new conditions of habitat. The nurseries, which has created by one-year spruce seedlings showed 2 times lower, energy growth of seedlings than that of seedlings with closed root system. Two-year seedlings of spruce in open, ground had a higher energy growth when planted in August, compared to the seedlings planted in September, but they inferior seedlings with closed root system.

Key words: densified school, Norway spruce, seedling, biometric indicators, growth energy.

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется применению крупного посадочного материала при производстве лесных культур, что требует более основательного технологического подхода к закладке школьных отделений питомника. Особенно это актуально для уплотненных школ, предназначенных для выращивания саженцев ели европейской.

Посадочный материал, применяемый для закладки уплотненных школ, оказывает большое влияние на последующий рост выращиваемых саженцев. Обычно уплотненные школы

создаются посадкой двухлетних сеянцев ели, выращенных в посевном отделении питомника. Однако есть примеры, когда для закладки школ используется посадочный материал и другого возраста [1]. Большое влияние на приживаемость сеянцев ели и их рост в уплотненной школе оказывают сроки посадки. Наиболее благоприятным временем закладки уплотненных школ является период с начала августа до начала сентября [2, 3]. Наряду с наиболее широко применяемыми биометрическими показателями, такими как высота надземной части и

толщина корневой шейки, успешность роста саженцев характеризует энергия роста. Этот показатель был впервые использован Огиевским В. В. для оценки интенсивности роста и состояния лесных культур [4]. Энергия роста, наряду с приживаемостью, характеризует адаптацию растений к новым условиям местопроизрастания после их пересадки [5, 6]. Показатель энергии роста выражается в процентах и показывает насколько интенсивно растут пересаженные растения. Низкая энергия роста говорит о неблагоприятных факторах, которые повлияли на рост растений. Наряду с почвенно-грунтовыми условиями большое влияние на начальном этапе роста саженцев оказывает отношение надземной и подземной фитомассы пересаживаемых семян. Превышение массы надземной части семян над их подземной более чем в 4 раза может негативно сказываться на интенсивности роста пересаженных растений [5, 7, 8].

Основная часть. Целью исследований являлось определить влияние возраста и условий выращивания семян ели на их показатели роста после пересадки в уплотненную школу.

Исследования проводились в лесном питомнике Глубокского опытного лесхоза. Почвы на исследуемом участке сформированы на мореных отложениях, представленных связными супесями, подстилаемыми с глубины более 1 м суглинком легким. Верхний пахотный горизонт по содержанию гумуса имеет среднюю степень обеспеченности (2,15–2,53% гумуса), величина pH составляет от 5,18 до 6,08, степень обеспеченности подвижным фосфором и обменным калием –

средняя и повышенная. Такие почвенные условия являются благоприятными для выращивания саженцев ели [9]. На питомнике были заложены уплотненные школы, которые создавались разным по возрасту и условиям выращивания посадочным материалом. Через год после их закладки были определены биометрические показатели саженцев путем измерения высоты и толщины корневой шейки у 200–250 саженцев каждого варианта. Полученные материалы были обработаны с использованием методов математической статистики [10, 11]. Результаты исследований представлены в табл. 1.

В соответствии с ТКП 575-2015 «Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых видов в лесных питомниках республики Беларусь» высота надземной части саженцев ели европейской должна быть не менее 25 см, а толщина стволика у корневой шейки не менее 5 мм [12]. Указанных показателей достигли только саженцы ели, которые выращивались в школе в течение двух или трех лет. Так, саженцы СЖ₂₊₂ имеют среднюю высоту 35,6 см, а саженцы СЖ₂₊₃ – 40,2 см. По толщине корневой шейки саженцы в этих двух вариантах также превышают требования ТКП 575-2015.

Саженцы, срок выращивания которых в уплотненной школе составляет 1 год, еще не достигли стандартных размеров, но имеют различия в биометрических показателях.

Нами проведена оценка достоверности различий показателей роста саженцев ели европейской в уплотненных школах, заложенных разным посадочным материалом (табл. 2).

Таблица 1

Биометрические показатели саженцев ели европейской в уплотненных школах, заложенных разным посадочным материалом

Посадочный материал для закладки школ	Возраст саженцев	Высота надземной части, см				Толщина корневой шейки, мм			
		$M \pm m$	δ	$v, \%$	$P, \%$	$M \pm m$	δ	$v, \%$	$P, \%$
Однолетние саженцы ели с ЗКС (посадка в апреле)	1 + 1	16,7 ± 0,47	3,28	19,7	2,8	3,2 ± 0,04	0,28	8,8	1,3
Однолетние саженцы ели, выращенные в теплице (посадка в апреле)	1 + 1	13,0 ± 0,41	2,33	17,9	2,5	2,9 ± 0,04	0,30	13,6	1,8
Двухлетние саженцы ели открытого грунта (посадка в начале августа)	2 + 1	19,1 ± 0,58	4,1	21,5	3,0	3,9 ± 0,14	0,95	18,6	2,7
Двухлетние саженцы ели открытого грунта (посадка в начале сентября)	2 + 1	15,8 ± 0,64	4,5	28,4	4,0	3,0 ± 0,06	0,45	15,0	2,0
Двухлетние саженцы ели открытого грунта	2 + 2	35,6 ± 1,10	7,7	21,6	3,1	8,8 ± 0,26	1,8	20,4	3,0
Двухлетние саженцы ели открытого грунта	2 + 3	40,2 ± 1,23	8,6	21,4	3,1	11,8 ± 0,31	2,2	18,6	2,6

Таблица 2

Достоверность различий биометрических показателей саженцев ели европейской в уплотненных школах, заложенных разным посадочным материалом

Значение <i>t</i> -критерия Стьюдента при закладке школ посадочным материалом	Высота надземной части, см	Диаметр корневой шейки, мм
Однолетние сеянцы ели с ЗКС (посадка в апреле)	5,96	5,00
Однолетние сеянцы ели, выращенные в теплице (посадка в апреле)		
Однолетние сеянцы ели с ЗКС (посадка в апреле)	1,13	2,70
Двухлетние сеянцы ели открытого грунта (посадка в начале сентября)		
Однолетние сеянцы ели с ЗКС (посадка в апреле)	3,20	3,50
Двухлетние сеянцы ели открытого грунта (посадка в начале августа)		

Таблица 3

Энергия роста саженцев ели европейской в уплотненных школах, заложенных разным посадочным материалом

Посадочный материал для закладки школ	Возраст саженцев	Средняя высота, см	Прирост по высоте, см	Энергия роста, %
Однолетние сеянцы ели с ЗКС (посадка в апреле)	1 + 1	16,7 ± 0,47	8,4 ± 0,30	50,3
Однолетние сеянцы ели, выращенные в теплице (посадка в апреле)	1 + 1	13,0 ± 0,25	2,8 ± 0,09	21,5
Двухлетние сеянцы ели открытого грунта (посадка в начале августа)	2 + 1	19,1 ± 0,58	6,4 ± 0,26	33,5
Двухлетние сеянцы ели открытого грунта (посадка в начале сентября)	2 + 1	15,8 ± 0,64	4,0 ± 0,10	25,3

Наиболее высокие биометрические показатели имеют саженцы в уплотненной школе, созданной посадкой двухлетних сеянцев ели открытого грунта в начале августа. Средняя высота саженцев составляет 19,1 см, а толщина корневой шейки – 5,1 мм. Саженцы в уплотненной школе, заложенной в сентябре, имеют среднюю высоту 15,8 см и с достоверной вероятностью 0,95 уступают по этому показателю саженцам СЖ₂₊₁ с посадкой в августе. Таким образом, уже на первом году выращивания саженцы августовской посадки имеют преимущество в росте по сравнению с саженцами сентябрьской посадки.

Саженцы ели, созданные посадочным материалом с ЗКС, имеют среднюю высоту 16,7 см, что на уровне значимости 0,01 является достоверно более высоким показателем по сравнению с саженцами, выращиваемыми из однолетних сеянцев ели в теплице, средняя высота которых составляет 13,0 см ($t = 5,96$). Саженцы в школе, созданной двухлетними сеянцами ели открытого грунта с посадкой в начале сентября, имеют меньшую высоту по сравнению со школой, созданной материалом с ЗКС, но эта разница не является существенной ($t = 1,13$). При посадке двухлетних сеянцев в августе саженцы СЖ₂₊₁ достоверно превосходят саженцы СЖ₁₊₁, которые выращиваются из однолетних сеянцев с ЗКС ($t = 3,20$).

Нами также проведена оценка роста саженцев ели в зависимости от посадочного материала

для закладки школ, путем расчета показателя энергии роста, которая характеризует быстроту роста саженцев при их пересадке в уплотненную школу (табл. 3).

При пересадке растений с открытой корневой системой часть корней повреждается и поэтому рост пересаженных растений значительно замедляется. Наивысший показатель энергии роста (50,3%) наблюдается у саженцев уплотненной школы, заложенной сеянцами с ЗКС. Это говорит о том, что здесь наиболее успешно происходит адаптация саженцев к новым условиям местообитания. При создании школы однолетними сеянцами ели, выращенными в теплице, энергия роста саженцев оказалась 21,5%, что более чем в 2 раза ниже, чем у саженцев, выращенных из сеянцев с ЗКС. Двухлетние сеянцы ели открытого грунта при посадке в школу в августе имеют энергию роста 33,5%, а при посадке в сентябре – 25,3%. Таким образом, сроки посадки также оказывают влияние на энергию роста саженцев в школе. Она более высокая у саженцев при посадке в конце летнего периода.

Известно, что чем выше темп роста в начальном периоде, тем раньше саженцы проходят фазу замедленного роста и достигают стандартных размеров [13]. Это явление имеет тот биологический смысл, что развитие саженцев в лучших условиях внешней среды протекает в ускоренном темпе. Поэтому очень важным яв-

ляется на первых этапах выращивания саженцев свести к минимуму причины замедленного роста. В нашем случае это достигается использованием при закладке школ однолетних сеянцев ели с закрытой корневой системой.

Заключение. Оптимальным временем закладки уплотненной школы является первая декада августа в период интенсивного роста корней. Пересадка сеянцев в более поздние сроки уже не обеспечивает достаточного развития корневой системы. Наиболее высокие биометрические показатели имеют саженцы в уплотненной школе, созданной посадкой двухлетних сеянцев ели открытого грунта в начале августа. Они имеют существенное преимущество в росте по сравнению с саженцами сентябрьской посадки.

Саженцы ели, созданные посадочным материалом с ЗКС, имеют достоверно более высокие биометрические показатели по сравнению с саженцами, которые выращиваются из однолетних сеянцев ели в теплице.

Саженцы в школе, созданной двухлетними сеянцами ели открытого грунта с посадкой в

начале сентября, имеют меньшую высоту по сравнению со школой, созданной материалом с ЗКС, но эта разница не является существенной. При посадке двухлетних сеянцев в августе саженцы достоверно превосходят саженцы, которые выращиваются из однолетних сеянцев с ЗКС.

Наивысший показатель энергии роста наблюдается у саженцев уплотненной школы, заложенной сеянцами с ЗКС. В этом случае наиболее успешно происходит адаптация саженцев к новым условиям местопроизрастания. При создании школы однолетними сеянцами ели, выращенными в теплице, энергия роста саженцев оказалась более чем в 2 раза ниже, чем у саженцев, выращенных из сеянцев с ЗКС. Двухлетние сеянцы ели открытого грунта при посадке в школу в августе имеют более высокую энергию роста по сравнению с посадкой в сентябре. Таким образом, сроки посадки также оказывают влияние на энергию роста саженцев в школе. Она более высокая у саженцев при посадке в конце летнего периода.

Литература

1. Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Праходский А. Н. Лесные культуры и защитное лесоразведение. Минск: БГТУ, 2007. 311 с.
2. Крук Н. К., Якимов Н. И., Волкович А. П. Современные технологии выращивания саженцев в уплотненной школе // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 152–156.
3. Light-induced gradual activation of photosystem II in dark-grown Norway spruce seedlings / Pavlovič A. [et al.] // *Biochimica et Biophysica Acta Bioenergetics*. 2016. Vol. 1857, issue 6. P. 799–809.
4. Огиевский В. В. Энергия и интенсивность роста как показатели состояния культур // Лесовосстановление: материалы науч.-техн. конф., Ленинград, 25 мая 1968 г. / Ленингр. лесотехн. акад. Ленинград, 1968. С. 31.
5. Cultivation of Norway spruce and Scots pine on organic nitrogen improves seedling morphology and field performance / Gruffman L. [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2012. Vol. 276. P. 118–124.
6. Asiegbe F. O., Daniel G., Johansson M. Defence related reactions of seedling roots of Norway spruce to infection by *Heterobasidion annosum* // *Physiological and Molecular Plant Pathology*. 1994. Vol. 45, issue 1. P. 1–19.
7. Родин А. Р. Интенсификация выращивания лесопосадочного материала. М.: Агропромиздат, 1989. 78 с.
8. 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 Респ. Беларусь, 2007. 147 с.
9. Soil fertility and charcoal as determinants of growth and allocation of secondary plant metabolites in seedlings of European beech and Norway spruce / Kolstad A. L. [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. 2016. Vol. 131. P. 39–46.
10. Зайцев Г. Н. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1984. 424 с.
11. Атрощенко О. А., Машковский В. П. Лесная биометрия. Минск: БГТУ, 2010. 328 с.
12. ТКП 575-2015. Наставление по выращиванию посадочного материала древесных и кустарниковых видов в лесных питомниках Республики Беларусь. Введ. 15.12.2015. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2015. 55 с.
13. Загреев В. В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев. М.: Лесная пром-сть, 1978. 240 с.

References

1. Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Prakhodskiy A. N. *Lesnye kultury i zashchitnoe lesorazvedeniye*. [Plantations and protective wood cultivation]. Minsk, BG TU Publ., 2007. 311 p.

2. Kruk N. K., Yakimov N. I., Volkovich A. P. Modern technology of growing seedlings in compacted school. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 152–156 (In Russian).
3. Pavlovich A., Stolyarik T., Nosek L., Kouril R., Ilik P. Light-induced gradual activation of photosystem II in dark-grown Norway spruce seedlings. *Biochimica et Biophysica Acta Bioenergetics*, 2016, vol. 1857, issue 6, pp. 799–809.
4. Ogievskiy V. V. Energy and intensity of growth as indicators of plantations condition. *Materialy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii: Lesovosstanovleniye* [Materials of scientific and technical conferences “Reafforestation”]. Leningrad, 1968, p. 31 (In Russian).
5. Gruffman L., Ishida T., Nordin A., Näsholm T. Cultivation of Norway spruce and Scots pine on organic nitrogen improves seedling morphology and field performance. *Forest Ecology and Management*, 2012, vol. 276, pp. 118–124.
6. Asiegbu F. O., Daniel G., Johansson M. Defense related reactions of seedling roots of Norway spruce to infection by *Heterobasidion annosum*. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 1994, vol. 45, issue 1, pp. 1–19.
7. Rodin A. R. *Intensifikatsiya vyrashchivaniya lesoposadochnogo materiala* [Intensification of growing forest planting material]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 78 p.
8. Kopytkov V. V. *Sovremennye tekhnologii i agrotekhnicheskie priyemy po vyrashchivaniyu, khraneniyu i transportirovke posadochnogo materiala s ispol'zovaniyem kompozitsionnykh polimernykh sostavov* [Modern technologies and farming techniques for growing, storage and transport of planting material using composite polymeric compositions]. Minsk, Akademiya upravleniya pri Prezidente Respubliki Belarus' Publ., 2007. 147 p.
9. Kolstad A. L., Asplund J., Nilsson M.-C., Ohlson M., Nybakken L. Soil fertility and charcoal as determinants of growth and allocation of secondary plant metabolites in seedlings of European beech and Norway spruce. *Environmental and Experimental Botany*, 2016, vol. 131, pp. 39–46.
10. Zaytsev G. N. *Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Mathematical Statistics in Experimental Botany]. Moscow, Nauka Publ., 1984. 424 p.
11. Atroshchenko O. A., Mashkovskiy V. P. *Lesnaya biometriya* [Forest biometrics]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 328 p.
12. 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).
13. Zagreev V. V. *Geograficheskiye zakonomernosti rosta i produktivnosti drevostoev* [Geographic patterns of growth and productivity of forest stands]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 240 p.

Информация об авторах

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

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

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

Information about the authors

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

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

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

Поступила 12.10.2016

ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

УДК 632.3/8:582.998.16

А. Б. Марченко

Белоцерковский национальный аграрный университет

ГЕОГРАФИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПАТОГЕННОЙ МИКОФЛОРЫ НА РАСТЕНИЯХ *CALLISTEPHUS CHINENSIS* L. NESS.

В результате географического анализа распространения возбудителей фитопатологического комплекса на *C. chinensis* L. Ness. установили, что патогенная микофлора была обнаружена на 5 материках мира, среди которых по количественному показателю выявленных возбудителей микофлоры доминирование имеют Евразия (17 видов, 80,9%) и Северная Америка (14 видов, 66,7%), а по территориальному распределению – Северная Америка – 30 стран и Евразия – 24 страны. Установили тип распространения, ареал распространения, микофлористику возбудителей, выявленных в патологическом комплексе *C. chinensis* L. Ness.

Ключевые слова: *Callistephus chinensis* L. Ness., патогенная микофлора, география, распространение.

A. B. Marchenko

Bila Tserkva National Agrarian University

THE GEOGRAPHY OF PATHOGENIC MYCOFLORA SPREADING ON *CALLISTEPHUS CHINENSIS* L. NESS. PLANTS

According to the results of geographical analysis of spreading the phytopathological complex on *C. chinensis* L. Ness. we have found that pathogenic micoflora was detected on 5 continents of the world among which the quantitative detection rate of pathogens the micoflora dominate on Eurasia (17 species, 80.9%) and North America (14 species, 66.7%), and according to the territorial distribution there prevail North America – 30 countries, and Eurasia – 24 countries. We have determined the type of distribution, area of distribution, micofloristics of pathogens identified in the pathological complex of *C. chinensis* L. Ness.

Key words: *Callistephus chinensis* L. Ness., pathogenic mycoflora, geography, distribution.

Введение. Одной из составляющих характеристики возбудителей болезней растений является географический анализ их распространения, который отражает историческое развитие вида, адаптивные его возможности, прежде всего по изменению климата.

Ареалы распространения различных таксонов микроорганизмов со временем меняются. Эти изменения связаны с общими процессами филоценогенеза и деятельностью человека. Распространение организмов всегда соответствует их требованиям к условиям среды, в неподходящих условиях они не могут выжить и оставить потомства. В то же время очень часто тот или иной вид заселяет лишь часть территории с подходящими для его жизни условиями, т. е. в потенциальном ареале, заселить всю территорию не позволяют неблагоприятные экологические условия или организмы-конкуренты.

Преодолев однажды преграду, вид микроорганизма может расселиться на новую территорию, таким образом расширить свой ареал распространения и развития. Часто преодоление препятствий микофлоры происходит с помощью человека в результате сознательной или случайной акклиматизации растений. Изменение условий среды из-за деятельности человека также может вызывать расселение видов микроорганизмов, расширение первоначального их ареала. Ареалы могут со временем как увеличиваться, так и уменьшаться. Зона первичного возникновения вида – первичный ареал – может находиться в пределах какой-то части современного ареала, но может быть и за его пределами. Поэтому важно провести географический анализ распространения и развития патогенной микофлоры, чтобы в дальнейшем предупредить изменение ареала и появление новых патогенов в регионе произрастания растений.

Цель исследования – на основе анализа литературных данных, а также собственных исследований определить ботанико-географические районы распространения видов патогенной микрофлоры *C. chinensis* L. Ness.

Основная часть. Географический анализ видов фитопатогенных микроорганизмов, которые имели развитие на *C. chinensis* L. Ness., включал несколько параметров: тип распространения, географические центры, ареал распространения, микрофлористика. Все параметры географического анализа распространения патогена предлагаем записывать в виде формул, где в сокращенной аббревиатуре отражено место произрастания и характеристика территории, на которой обнаружен тот или иной вид возбудителя на *C. chinensis* L. Ness.

За основу изучения географии возбудителей приняли классификацию климатов Кёппена [1], которая позволяет анализировать распространение микобиоты в широтном (зональном) и пояском (океаническо-континентальном) аспектах. Тип распространения предлагаем оценивать по географическому размещению страны, где обнаружен (зафиксирован) возбудитель в фитопатологическом комплексе *C. chinensis* L. Ness., и обозначать следующим образом: американский – Am, океанийский – Ok, азиатский – Az, африканский – Af, европейский – Eu.

Географические центры предлагаем определять по географическим координатам страны, где выявлен возбудитель в фитопатологическом комплексе *C. chinensis* L. Ness. Определение типа распространения и координаты географических центров распространения и развития возбудителей предлагаем устанавливать по следующим параметрам:

– американский тип (Am) – распространение возбудителя имеет географические центры, включающие страны Северной (Amn) и Южной (Ams) Америки, в географических координатах с 75°N до 55°S;

– океанийский тип (Ok) – острова центральной и южной части Тихого океана, между 30°S и 30°N, включая Австралию (Oka), Новую Зеландию (Oknz) и восточную часть Новой Гвинеи (Okng);

– азиатский тип (Az) – страны регионов Северо-Восточной (Azn), Западной (страны Ближнего Востока и Закавказья) (Azw), Южной и Юго-Восточной (Azs), Центральной (Azc), Восточной (Aze) Азии, северная крайняя географическая точка 77°3'0"N, 04°18'0"E, южная – 1°16'0"N, 103°30'0"E, западная – 39°29'0"N, 26°4'0"E, восточная – 66°5'0"N, 169°40'0"E;

– африканский тип (Af) имеет географические центры, включающие страны регионов Северной (Afn), Южной (Afs), Западной (Afw),

Восточной (Afe) Африки, северная крайняя географическая точка – 37°20'0"N, 9°51'0"E, южная – 34°52'0"N, 19°59'0"E, западная – 14°45'0"N, 17°32'0"E, восточная – 10°26'0"N, 51°23'0"E;

– европейский тип (Eu) включает страны регионов Северной (Eun), Южной (Eus), Западной (Euw), Восточной (Eue) Европы, северная крайняя географическая точка – 71°8'0"N, 27°42'0"E, южная – 36°0'0"N, 5°36'0"W, западная – 38°48'0"N, 9°31'0"W, восточная – 39°29'0"N, 26°4'0"E.

Ареал распространения возбудителей, выявленных в патологическом комплексе *C. chinensis* L. Ness., оценивали в соответствии с широтным (зональным) и поясным (океаническо-континентальным) размещением страны согласно классификации климатов Кёппена – Гейгера [1].

Классификация климатов включает 5 типов климатических зон, а именно: А – тропический и экваториальный климат; В – сухой, субэкваториальный, тропический; С – умеренный, субтропический и континентальный; D – континентальный, субарктический (бореальный); Е – полярный, субарктический, арктический. Анализируя распространение микрофлоры в фитопатологическом комплексе *C. chinensis* L. Ness. руководствовались флористическим районированием мира и биотическими регионами суши.

Результаты исследований и их обсуждение. Детально проанализировав литературные источники и собственные исследования в Украине по распространению микрофлоры в фитопатологическом комплексе *C. chinensis* L. Ness., установили, что основные возбудители обнаружены на 5 континентах мира, среди которых по количественному показателю выявленных возбудителей микрофлоры доминирование имеют Евразия (17 видов, 80,9%) и Северная Америка (14 видов, 66,7%). В Северной Америке обнаружены возбудители: *A. alternata*, *A. Petalicolor*, *B. cinerea*, *C. asterum*, *E. Cichoracearum*, *F. culmorum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *P. ultimum*, *Rh. solani*, *S. callistephi*, *V. albo-atrum*, *V. dahliae*; в Южной Америке – *Ph. cryptogea*, *Ph. parasitica*, *S. callistephi*; в Австралии – *Ph. cryptogea*, *P. ultimum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *V. dahliae*, *E. cichoracearum*, *B. cinerea*; в Африке – *A. Brassicae*, *B. cinerea*, *P. asteris*, *P. ultimum*, *Rh. solani*, *S. callistephi*; в Евразии – *A. alternata*, *A. Petalicolor*, *A. zinniae*, *B. cinerea*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. Oxysporum* f. sp. *callistephi*, *F. solani*, *P. asteris*, *Ph. Cryptogea*, *Ph. cactorum*, *R. callistephi*, *Rh. solani*, *S. callistephi*, *V. albo-atrum*.

По территориальному распределению преимущество имеет Северная Америка – 30 стран и Евразия – 24 страны. В фитопатогенном комплексе растений *C. chinensis* L. Ness. на материке Северная Америка выявлено распространение микофлоры в странах: Айова – *C. asterum*, Аляска – *A. alternata*, *B. cinerea*, Вашингтон – *E. cichoracearum*, *S. callistephi*, Вест-Индия – *C. asterum*, Гавайи – *S. callistephi*, Калифорния – *B. cinerea*, *P. ultimum*, *C. asterum*, *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *F. oxysporum* f. sp. *Callistephi*, *Rh. solani*, *V. dahliae*, Канада – *A. Petalicolor*, *B. cinerea*, *V. dahliae*, *C. asterum*, *Ph. cryptogea*, *E. cichoracearum*, *Rh. solani*, *S. callistephi*, *V. albo-atrum*, Куба – *C. asterum*, *P. asteris*, Массачусетс – *B. cinerea*, Коннектикут – *B. cinerea*, *C. asterum*, Миссури – *S. callistephi*, Мичиган – *S. callistephi*, Миннесота – *E. cichoracearum*, Мэн – *C. asterum*, Небраска – *E. cichoracearum*, Нью-Джерси – *B. cinerea*, *S. callistephi*, Нью-Йорк – *B. cinerea*, *P. asteris*, *S. callistephi*, Огайо – *P. asteris*, *S. callistephi*, Алабама – *S. callistephi*, Вермонт – *C. asterum*, Висконсин – *B. cinerea*, Делавэр – *S. callistephi*, Северная Дакота – *P. ultimum*, *P. asteris*, Северная Каролина – *E. cichoracearum*, Род-Айленд – *C. asterum*, США – *F. culmorum*, *Rh. solani*, Иллинойс – *B. cinerea*, *Ph. cryptogea*, *S. callistephi*, Флорида – *A. Alternata*, *B. cinerea*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *Rh. solani*, *V. albo-atrum*, Пенсильвания – *B. cinerea*, *S. callistephi*, *C. Asterum*, Оклахома – *B. cinerea*, США – *Ph. cryptogea*.

На материке Евразия выявлено в странах: Австрия – *Rh. solani*, Болгария – *Ph. Cryptogea*, *E. cichoracearum*, *F. culmorum*, *P. asteris*, *Rh. Solani*, *S. callistephi*, Великобритания – *Ph. cryptogea*, Ирландия – *Phytophthora cryptogea* Pethybr. & Laff., *E. cichoracearum*, Армения – *A. zinniae*, *P. asteris*, *F. Avenaceum*, *F. oxysporum* f. sp. *Callistephi*, *Rh. solani*, Гонконг – *Rh. solani*, Греция – *Ph. cryptogea*, *F. oxysporum* f. sp. *Callistephi*, *Rh. solani*, Грузия – *C. asterum*, *V. albo-atrum*, Дания – *P. asteris*, *A. Alternata*, *F. avenaceum*, Германия – *B. cinerea*, Индия – *A. Alternata*, *P. asteris*, Китай – *B. cinerea*, *P. asteris*, *S. callistephi*, *Rh. solani*, *V. albo-atrum*, *C. asterum*, *F. solani*, Корея – *B. cinerea*, *C. asterum*, *Rh. solani*, *S. callistephi*, Латвия – *R. Callistephi*, Малайзия – *P. asteris*, Мьянма – *S. callistephi*, Польша – *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *P. asteris*, *S. callistephi*, *A. Petalicolor*, Румыния – *S. callistephi*, Украина – *A. Alternata*, *B. cinerea*, *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. solani*, *P. ultimum*, *R. callistephi*, *V. albo-atrum*, *Ph. cactorum*, *F. oxysporum* f. sp. *Callistephi*, *A. zinniae*, *S. callistephi*, Финляндия – *E. cichoracearum*, Франция – *E. cichoracearum*, Чехия – *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *Ph. cactorum*, Шотландия – *Ph. cryptogea*, *R. solani*.

На материке Южная Америка выявлено в странах: Аргентина – *Ph. cryptogea*, *Ph. parasitica*, Бразилия – *S. callistephi*. На материке Австралия в странах: Австралия – *Ph. cryptogea*, *P. ultimum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *B. cinerea*, *V. dahliae*, Новая Зеландия – *E. cichoracearum*, *V. dahliae*, *B. cinerea*, *Ph. cryptogea*.

На материке Африка выявлено в странах Зимбабве – *Rh. solani*, *A. brassicae*, *B. cinerea*, ЮАР – *A. brassicae*, *P. asteris*, *P. ultimum*, *S. callistephi*, *Rh. solani*.

Оценивая географическое расположение страны, где обнаружена (зафиксирована) патогенная микобиота на *C. chinensis* L. Ness., определяли тип распространения возбудителей: азиатский тип распространения (Az) имеют возбудители *P. asteris*, *Rh. solani*, *B. cinerea*, *Ph. cryptogea*, *S. callistephi*, *V. albo-atrum*, *A. Alternata*, *A. zinniae*, *F. avenaceum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *F. solani*, *C. asterum*; американский тип (Am) – *P. asteris*, *Ph. parasitica*, *A. Petalicolor*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *E. cichoracearum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *Ph. cryptogea*, *P. ultimum*, *Rh. solani*, *S. callistephi*, *V. albo-atrum*, *V. dahliae*, *F. culmorum*; африканский (Af) – *P. asteris*, *A. brassicae*, *P. ultimum*, *B. cinerea*, *Rh. solani*; европейский тип (Eu) – *E. cichoracearum*, *Ph. cryptogea*, *F. avenaceum*, *F. culmorum*, *F. solani*, *Ph. cactorum*, *B. cinerea*, *P. ultimum*, *R. Callistephi*, *Rh. solani*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *V. dahliae*, *A. alternata*, *A. zinniae*, *A. Petalicolor*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *P. asteris*; океанийский (Ok) – *E. cichoracearum*, *B. Cinerea*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *Ph. cryptogea*, *P. ultimum*, *V. dahliae*.

Согласно широтного и поясного размещения страны и классификации климатов Кёппена, установили ареал распространения возбудителей, выявленных в патологическом комплексе *C. chinensis* L. Ness.

Таким образом, установили, что 34% патогенной микофлоры (*P. asteris*, *Ph. Cryptogea*, *A. petalicolor*, *A. zinniae*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *F. oxysporum* f. sp. *Callistephi*, *F. avenaceum*, *F. solani*, *F. culmorum*, *V. albo-atrum*, *V. dahliae*, *P. ultimum*, *Rh. solani*, *R. callistephi*) имеет ареал распространения во влажном континентальном климате (D). В умеренной субтропической, континентальной климатической зоне (C) распространено 28% патогенной микофлоры: *C. chinensis* L. Ness.: *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *Ph. Cactorum*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *F. oxysporum* f. sp. *Callistephi*, *F. avenaceum*, *F. solani*, *F. culmorum*, *V. albo-atrum*, *V. dahliae*, *Rh. solani*.

В сухой, субэкваториальной, тропической климатической зоне (B), распространены 24%

возбудителей: *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *Ph. parasitica*, *A. brassicae*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *F. avenaceum*, *V. albo-atrum*, *V. dahliae*, *P. ultimum*, *Rh. solani*.

В тропической экваториальной климатической зоне (А) выявлено распространение 14% возбудителей: *P. asteris*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *V. albo-atrum*, *Rh. solani*.

В полярной, субарктической климатической зоне (Е), распространение патогенной микофлоры *C. chinensis* L. Ness. не обнаружено.

Руководствуясь флористическим районированием мира и биотическими регионами суши, определили, что в Ориентальном флористическом царстве патогенная микофлора на растениях *C. chinensis* L. Ness. зафиксирована в Индийской (*P. asteris*, *A. alternata*) и Малайской (*P. asteris*) областях, а в Индокитайской и Тихоокеанской областях на *C. chinensis* L. Ness. фитопатогенных возбудителей не выявлено.

В Эфиопском флористическом царстве в Суданской области зафиксированы – *P. asteris*, *A. brassicae*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *P. ultimum*, *Rh. Solani*, в Калахари-Намибийской – *P. asteris*, *A. brassicae*, *S. callistephi*, *P. ultimum*, *Rh. solani*, а в Конголезской, Атлантической областях фитопатогенных возбудителей не обнаружено. В Мадагаскарском и Капском флористических царствах фитопатогенных возбудителей микофлоры на *C. chinensis* L. Ness. не обнаружено.

В Австралийском флористическом царстве в Материковой области зафиксирована *Ph. cryptogea*, *B. cinerea*, *F. oxysporum* f. sp. *Callistephi*, *V. dahliae*, *P. ultimum*, а в Новогвинейской, Фиджийской, Новокаледонской областях патогены не обнаружены. В Антарктическом флористическом царстве в Магеллановой области зафиксированы *Ph. cryptogea*, *Ph. parasitica*, в Новозеландской – *Ph. cryptogea*, *B. cinerea*, *E. cichoracearum*, *V. dahliae*, а в Хуан-Фернандесской и Циркумполярной областях патогенная микофлора не обнаружена.

В Неотропическом флористическом царстве в Карибской области зафиксированы *P. asteris*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *V. albo-atrum*, *Rh. solani*, в Бразильской – *S. callistephi*, в Андийской – *Ph. parasitica*, а в области Гвианского нагорья и Амазонской области ничего не обнаружено. В Неарктическом флористическом царстве в Канадской области зафиксированы *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *A. petalicolor*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *V. dahliae*, *V. albo-atrum*, *Rh. solani*, в Миссисипской – *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *F. culmoru*, *V. dahliae*, *P. ultimum*, *Rh. solani*,

в Кордильерской – *B. cinerea*, *C. Asterum*, в Сонорской – *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *E. cichoracearum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*.

В Палеарктическом флористическом царстве обнаружены в Европейской области – *P. asteris*, *Ph. cactorum*, *Ph. cryptogea*, *A. Petalicolor*, *A. zinniae*, *A. alternata*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *E. cichoracearum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *F. avenaceum*, *F. solani*, *F. culmoru*, *V. dahliae*, *V. albo-atrum*, *P. ultimum*, *Rh. solani*, *R. Callistephi*, в Средиземноморской – *P. asteris*, *S. callistephi*, *E. cichoracearum*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *F. culmoru*, *Rh. solani*, в Ирано-Туранской – *P. asteris*, *A. zinniae*, *F. oxysporum* f. sp. *callistephi*, *F. avenaceum*, *Rh. solani*, в Центральноазиатской – *Ph. asteris*, *C. asterum*, *V. albo-atrum*, в Восточно-Азиатской – *P. asteris*, *Ph. cryptogea*, *B. cinerea*, *S. callistephi*, *C. asterum*, *F. solani*, *V. albo-atrum*, *Rh. solani*, а в Ангарской и Сахаро-Синдской областях возбудителей не обнаружено.

Заключение. В результате географического анализа распространения возбудителей фитопатологического комплекса на *C. chinensis* L. Ness. установили, что патогенная микофлора была обнаружена на 5 материках мира, среди которых по количественному показателю выявленных возбудителей микофлоры доминирование имеют Евразия (17 видов, 80,9%) и Северная Америка (14 видов, 66,7%), а по территориальному распределению преимущество имеет Северная Америка – 30 стран и Евразия – 24 страны.

Установили ареал распространения возбудителей, выявленных в патологическом комплексе *C. chinensis* L. Ness.: во влажном континентальном климате (D) – 34%, в умеренной субтропической, континентальной климатической зоне (C) – 28%, в сухой, субэкваториальной, тропической климатической зоне (B) – 24%; в тропической экваториальной климатической зоне (A) – 14%, в полярной, субарктической климатической зоне (E) не выявлено патогенной микофлоры. В соответствии с флористическим районированием мира и биотических регионов суши установили, что 76,9% возбудителей выявлено в Палеарктическом флористическом царстве, а в Мадагаскарском и Капском не обнаружено вовсе. В Палеарктическом царстве (20 видов, 76,9%) патогенная микофлора зафиксирована в Европейской (18; 69,3%), Средиземноморской (6; 23%), Ирано-Туранской (5; 19,3%), Центрально-Азиатской (3; 11,5%), Восточно-Азиатской (8; 30,7%) областях; в Неарктическом царстве (13 видов, 50%) – в Канадской (11; 42,3%), Миссисипской (11; 42,3%), Кордильерской (2; 7,7 %), Сонор-

ской (6; 23%) областях; в Неотропическом царстве (9 видов, 34,6%) – в Карибской (7; 26,9%), Бразильской (1; 3,8%), Андийской (1; 3,8%) областях; в Эфиопском царстве (6 видов, 23,1%) – в Суданской (6; 23%), Калахари-Намибийской (5; 19,3%) областях; в Австралийском царстве

(5; 19,3%) – в Материковой области (5; 19,3%); в Антарктическом царстве (5 видов, 19,3%) – в Магеллановой (2; 7,7%), Новозеландской (4; 15,4%) области; в Ориентальном царстве (2 вида, 7,7%) – в Индийской (2; 7,7%) и Малайской (1; 3,8%) областях.

Литература

1. Mc. Knight, Tom L., Htss D. Climate Zones and Types: The Kuppen System. Physical Geography: A Landscape Appreciation. NY, Prentice Hall., 2000. 200 p.

References

1. Mc. Knight. Climate Zones and Types: The Kuppen System. Physical Geography: A Landscape Appreciation. NY, Prentice Hall, 2000. 200 p.

Информация об авторе

Марченко Алла Борисовна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры технологий в растениеводстве и защите растений. Белоцерковский национальный аграрный университет (09117, г. Белая Церковь, Соборная пл., 8/1, Киевская обл., Украина). E-mail: allafialko76@ukr.net

Information about the author

Marchenko Alla Borisovna – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of plant growing and protection. Bila Tserkva National Agrarian University (8/1, Soborna sq., 09117, Bila Tserkva, Kyiv region, Ukraine). E-mail: allafialko76@ukr.net

Поступила 16.02.2016

УДК 630*443.3:630*414.22:630*411

А. В. Ярук, В. Б. Звягинцев

Белорусский государственный технологический университет

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ
ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА
ЯСЕНЯ ОБЫКНОВЕННОГО В ЛЕСНЫХ ПИТОМНИКАХ**

В работе приводится анализ результатов защитных обработок сеянцев и саженцев ясеня обыкновенного в лесных питомниках Беларуси за 2015–2016 гг. Испытано 7 биологических и 4 химических препарата.

Химические фунгициды, содержащие в составе пропиконазол, дифеноконазол и комплекс тебуконазола и дифеноконазола, проявили сходную биологическую эффективность на саженцах ясеня – от 70,6 до 75,1% в 2015 г. и от 63,7 до 72,5% в 2016 г. Наибольшее защитное действие препарата наблюдалось при трехкратной обработке методом опрыскивания в концентрациях 0,1 и 0,15% по препарату. По результатам исследований два препарата рекомендованы для использования против халарового некроза в лесных питомниках Беларуси.

Эффективность биологических фунгицидов в благоприятных условиях различалась, наилучший защитный эффект проявил биопрепарат, содержащий комплекс бактериальных культур и продуктов метаболизма *Bacillus thuringiensis* Berliner, *Bacillus subtilis* Ehrenberg (67,5%), что позволяет рекомендовать его к применению в лесных питомниках республики.

Выявлено, что интенсивность развития заболевания зависит от погодных условий текущего года. В жарких засушливых условиях заболевание развивается депрессивно, первые симптомы поражения появляются с запозданием, в результате чего необходима корректировка сроков проведения защитных обработок.

Ключевые слова: халаровый некроз, *Hymenoscyphus fraxineus*, ясень обыкновенный, *Fraxinus excelsior*, химический контроль, фунгициды, биоциды.

A. V. Yaruk, V. B. Zvyagintsev

Belarusian State Technological University

**EFFECTIVENESS OF CHEMICAL AND BIOLOGICAL FUNGICIDES
IN CULTIVATION OF PLANTING MATERIAL
OF EUROPEAN ASH IN FOREST NURSERIES**

The results of protective treatments of seedlings and saplings of European ash in forest nurseries of Belarus in 2015–2016 are analyzed. 7 biological and 4 chemical fungicides are tested.

Chemical fungicides containing propiconazole, difenoconazole and complex of tebuconazole and difenoconazole showed similar biological efficacy on the seedlings of ash – from 70.6 to 75.1% in 2015 and 63.7 to 72.5% in 2016. The greatest protective effect of the chemical was observed with the triple treatment by spraying at fungicide concentrations 0.1 and 0.15%. According to the studies two chemicals are recommended for use against ash dieback in forest nurseries of Belarus.

The effectiveness of the biological agents in favorable conditions differed, the best protective effect in 2016 showed a biological product containing a complex of bacterial cultures (*Bacillus thuringiensis* Berliner, *Bacillus subtilis* Ehrenberg) and their metabolic products 67.5%, thus it can be recommended for use in forest nurseries of the republic.

It was found that the intensity of the disease depends on the weather conditions of the year. In hot dry conditions the disease develops in depressive way, and the first involvement symptoms appear late, resulting a necessity for correcting the time period of protective treatments.

Key words: ash dieback, *Hymenoscyphus fraxineus*, common ash, *Fraxinus excelsior*, chemical control, fungicides, biocides.

Введение. Халаровый некроз ясеня обыкновенного – новое для Европы инфекционное заболевание, вызываемое инвазивным высокоагрессивным аскомицетом *Hymenoscyphus fraxineus* (= *Chalara fraxinea* = *H. pseudoalbidus*) (T. Kowalski) Baral, Queloz. Впервые патоген был выявлен в 2006 г. в Польше [1], впоследствии симптомы поражения были зафиксированы

на территории большинства европейских стран [2–9]. Характерными симптомами заболевания являются некротическое поражение листовой пластинки и срединной жилки листа, образование язв на побегах текущего года, сливающихся и приводящих к отмиранию ветвей. На взрослых растениях болезнь приобретает хронический характер. У пораженных деревьев наблю-

дается изреженная крона, суховершинность, возможно формирование вторичной кроны множественными вновь отрастающими водяными побегами. При поражении молодых растений под пологом леса либо в питомнике заболевание может развиваться в острой форме, приводя к усыханию всей кроны и гибели целого растения за один-два вегетационных периода [1–3, 10–11].

На территории Беларуси заболевание было впервые зафиксировано Национальной сетью лесного мониторинга в 2003 г. [12], возбудитель был выделен в 2010 г. и идентифицирован методом ПЦР-анализа [13]. С 2003 по 2015 г. площадь ясеневых насаждений республики сократилась более чем на 50% [14]. В лесных насаждениях продолжается процесс интенсивного выпадения деревьев ясеня из состава древостоя.

Для эффективного восстановления ясеневых насаждений и предотвращения дальнейшего распространения заболевания европейскими учеными разрабатывается ряд защитных мероприятий. Одним из путей сохранения популяции этой ценной лесообразующей породы является активное выращивание посадочного материала и повышение площадей создаваемых лесных культур [15]. Для защиты сеянцев и саженцев ясеня обыкновенного в лесных питомниках необходим подбор эффективных средств защиты растений. Европейские научные коллективы анализируют влияние химических фунгицидов различных классов на распространность и развитие заболевания [16, 17]. Вместе с тем ведется поиск экологически безопас-

ных биологических средств защиты. Проводится отбор эндофитов ясеня обыкновенного, обладающих антагонистической активностью против *H. fraxineus* и не вирулентных по отношению к растению-хозяину. Предположительно данными качествами обладают некоторые штаммы грибов из родов *Venturia* и *Phomopsis* [18–21]. Анализируется возможность использования микровирусов для контроля развития заболевания [22].

Работы по выявлению эффективных против халарового некроза средств защиты в условиях Беларуси не проводились. В связи с этим наша задача состояла в скрининге химических и биологических фунгицидов, зарегистрированных в Государственном реестре средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь, проявившими эффективность против *H. fraxineus in vitro* [23], с различными действующими веществами в полевых условиях.

Материалы и методы исследования. Для изучения влияния защитных препаратов на развитие халарового некроза ясеня использовали четыре фунгицида класса триазолов, не запрещенных для применения в соответствии с требованиями международной схемы Лесного попечительского совета (FSC), и семь биологических препаратов (табл. 1). Препаративная форма химических фунгицидов – концентрат эмульсии, биологических – жидкость. В качестве эталона использовали препарат Азимут, КЭ, эффективный против пятнистостей листьев в лесных питомниках. Контроль – не обработанные препаратами.

Таблица 1

Перечень препаратов, применяемых для защитных испытаний

Название препарата	Производитель, страна происхождения	Действующие вещества	Концентрация, %	Расход рабочей жидкости, л/га	Год применения
Фунгициды					
Абсолют, КЭ	ООО «Франдеса», РБ	Пропиконазол, 250 г/л	0,05	500	2015–2016
Догода, КЭ	ООО «Франдеса», РБ	Тебуконазол, 125 г/л + дифеноконазол, 125 г/л	0,10 0,15		
Раёк, КЭ,	ЗАО Фирма «Август», РФ	Дифеноконазол, 250 г/л	0,05	500	2015–2016
Азимут, КЭ	ООО «Франдеса», РБ	Тебуконазол, 125 г/л + триадимефон, 100 г/л	0,10 0,15		
Биопрепараты					
Биопестицид Бетапротектин, Ж	ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», УО «Гродненский государственный аграрный университет», РБ	Титр жизнеспособных спор не менее 1 млрд/мл (<i>Bacillus amylo-liquefaciens</i> subsp. <i>plantarum</i> БИМ В-439 Д)	2	450	2015–2016
Биопестицид Экогрин, Ж	ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», РУП «Институт защиты растений», РБ	Титр не менее $1 \cdot 10^9$ жизнеспособных клеток/г (<i>Pseudomonas aurantiaca</i> , штамм БИМ В-446Д)	2	450	2015

Окончание табл. 1

Название препарата	Производитель, страна происхождения	Действующие вещества	Концентрация, %	Расход рабочей жидкости, л/га	Год применения
Фитопротектин, Ж	ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», РБ	Титр (4–7) · 10 ⁹ спор/мл (споры и продукты метаболизма бактерий <i>Bacillus subtilis</i> , штамм БИМ В-334 Д)	5	450	2015–2016
Биопестицид Фрутин, Ж	ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», РУП «Институт защиты растений», РБ	Титр жизнеспособных спор 5–8 млрд/мл (<i>Bacillus subtilis</i> , штамм БИМ В-262)			2016
Биопестицид Бактосол, Ж	ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», РБ	Титр не менее 0,1 млрд/мл (клетки, споры и продукты метаболизма бактерий <i>Bacillus subtilis</i> БИМ В-732 Д)	2	300	2016
Биопестицид Ксантрел, Ж	ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси», РБ	Титр жизнеспособных спор 0,1 млрд/см ³ (спорово-кристаллический комплекс и экзотоксин бактерий <i>Bacillus thuringiensis</i> БИМ В-711 Д, споры и продукты метаболизма бактерий <i>Bacillus subtilis</i> БИМ В-712 Д)		300	2016
Биопрепарат Фунгилекс, Ж	РУП «Институт защиты растений», РБ	Титр не менее 1 млрд жизнеспособных спор/мл (<i>Trichoderma</i> sp. D-11)	1	500	2016

Испытания проводили в 2015–2016 гг. в лесных питомниках на сеянцах и саженцах ясеня обыкновенного (*Fraxinus excelsior* L.) в 2–3-кратной повторности с интервалом в две недели. Площадь опытных участков – 1 м² (одна лента), расстояние между участками – 1 м. Рабочий раствор приготавливали непосредственно перед обработкой, которую проводили ручным опрыскивателем. Схема экспериментов представлена в табл. 2.

По результатам обследования рассчитывали биологическую эффективность (БЭ) действия

препаратов с поправкой на контроль по формуле

$$БЭ = \frac{К - О}{К} \cdot 100,$$

где БЭ – биологическая эффективность; К – развитие (пораженность) болезни в контроле (без обработки); О – развитие (пораженность) болезни в испытываемом варианте после обработки [24].

Погодные условия в период проведения эксперимента отслеживали по данным Белгидромета (www.pogoda.by).

Таблица 2

Схема проведения полевых испытаний химических и биологических фунгицидов в 2015–2016 гг.

Год	Место проведения испытаний	Вид посадочного материала	Год посева или посадки	Количество обработок	Количество повторностей	Дата первой обработки	Дата итогового учета
2015	ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз»	Сеянцы	2011	1–3	3	02.07.15	27.08.15
	ГЛХУ «Логойский лесхоз»	Сеянцы	2011, посадка на пень осенью 2014	2–3	2	08.07.15	01.09.15
	ГЛХУ «Ганцевичский лесхоз»	Сеянцы	2013	2–3	3	07.07.15	11.09.15
	ГЛХУ «Любанский лесхоз»	Саженцы	Посев – 2011, посадка – 2013	2–3	2	10.07.15	03.09.15
2016	ГЛХУ «Любанский лесхоз»	Саженцы	Посев – 2011, посадка – 2013	2–3	2	29.06.16	09.09.16
	ГЛХУ «Полоцкий лесхоз»	Сеянцы	Посев – 2015	2–3	3	08.07.16	26.09.16

Результаты и обсуждение. По данным Белгидромета, 2015 г. характеризовался жарким и засушливым вегетационным периодом. В июне и июле средняя температура на территории центральной и южной части республики (в Логойском, Ганцевичском и Любанском районах) на 1–2°C, в августе – на 3°C превысила месячную норму. При этом количество выпавших на данных территориях осадков оказалось значительно ниже нормы (50–75% от нормы в июне и июле, 1–25% в августе). Заболевание развивалось депрессивно, первые симптомы отмечались с существенным запозданием. Вместе с тем был нарушен водный режим растений – в лесных питомниках данных районов не проводились регулярные поливы. В Витебской области наблюдалось наименьшее отклонение климатических условий от нормы как по температурным показателям (норма в июне–июле и +2° в августе), так и по выпавшим на этой территории осадкам (норма в июле, 25–50% месячной нормы в июне и августе). Учитывая менее экстремальные погодные условия на севере страны и наличие систематических поливов в питомнике ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз», полученные данные использовались для статистической обработки.

В 2016 г. дефицит осадков в июне (в среднем 75% от нормы) компенсировался обильными дождями (1–2,5 месячной нормы) и повышенной (на 1–3°) температурой в июле, что позволяет использовать полученные данные для анализа.

По результатам двухлетних испытаний наилучшая биологическая эффективность химических пестицидов наблюдалась при трехкратной обработке в концентрациях 0,1 и 0,15% по препарату (рис. 1, 2).

Эталонный препарат Азимут, КЭ (зарегистрирован в Беларуси против мучнистой росы и пятнистостей на листовых породах в 2014 г.) показал наименьшую эффективность как в 2015 (51,5%), так и в 2016 г. (35,1 и 56,0% в Полоцком и Любанском лесхозах соответственно). Эффективность трех других препаратов оказалась значительно выше – от 70,6 до 75,1% в 2015 г., 41,6–42,3 и 63,7–72,5% в 2016 г. (Полоцкий и

Любанский лесхозы соответственно). На однолетних сеянцах защитное действие фунгицидов проявилось незначительно (с поправкой на контрольные необработанные участки), что может быть связано с их общей невысокой пораженностью некрозом. По результатам испытаний препараты Абсолют, КЭ и Догода, КЭ, содержащие пропиконазол и комплекс фунгицидов тебуконазол и дифеноконазол соответственно, были внесены в Государственный реестр средств защиты растений (пестицидов) и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь для защиты ясеня обыкновенного в питомниках от халарового некроза.

Результаты наших исследований соответствуют данным, полученным в условиях Западной Европы. Препараты на основе фунгицидов класса триазолов (карбендазима, хлороталонила, прохлораза, пропиконазола и тиабендазола) обладали высокой эффективностью против халарового некроза в концентрации менее 0,2 г/л [16, 17]. В ясеневых насаждениях Италии при введении препаратов методом инъекций эффективность тиабендазола составила 67,2% [16]. В Словении при исследовании влияния фунгицидов на формирование патогеном апотечий в лаборатории наиболее эффективным оказался фунгицид карбендазим в концентрации 1–10 мг/л [22].

В связи с высокой токсичностью химических фунгицидов для растений и окружающей среды необходимы также экологически безопасные биологические агенты, эффективные против возбудителя некроза и подавляющие развитие болезни. При проведении обработок в 2015 г. использование биологических препаратов оказалось малоэффективным, вероятно, в связи с неблагоприятными для развития биологического агента условиями. В 2016 г. наименее эффективные против халарового некроза препараты (Экогрин, Фрутин) исключили из эксперимента. Вместо них использовали Бактосол и Ксантрел, показавшие хорошие результаты в лабораторных условиях [25]. Кроме того, провели испытание препарата Фунгилекс, эффективного против заболеваний грибной этиологии в сельском хозяйстве. Результаты экспериментов отображены на рис. 3.

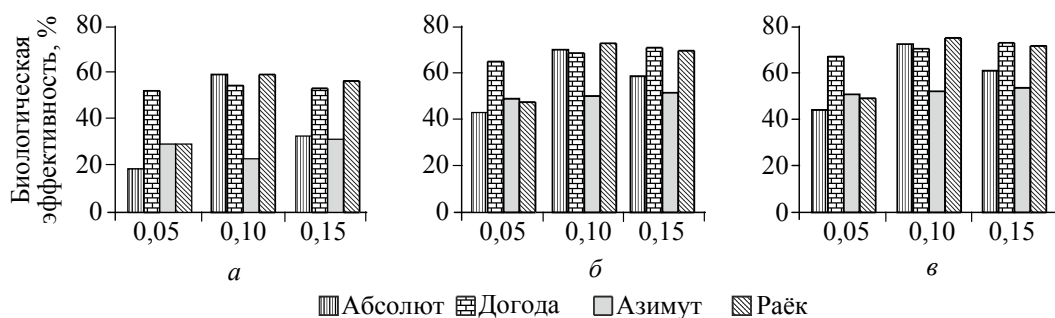


Рис. 1. Биологическая эффективность химических пестицидов, 2015 г. (ГОЛХУ «Глубокский опытный лесхоз»): а – однократная обработка; б – двухкратная обработка; в – трехкратная обработка

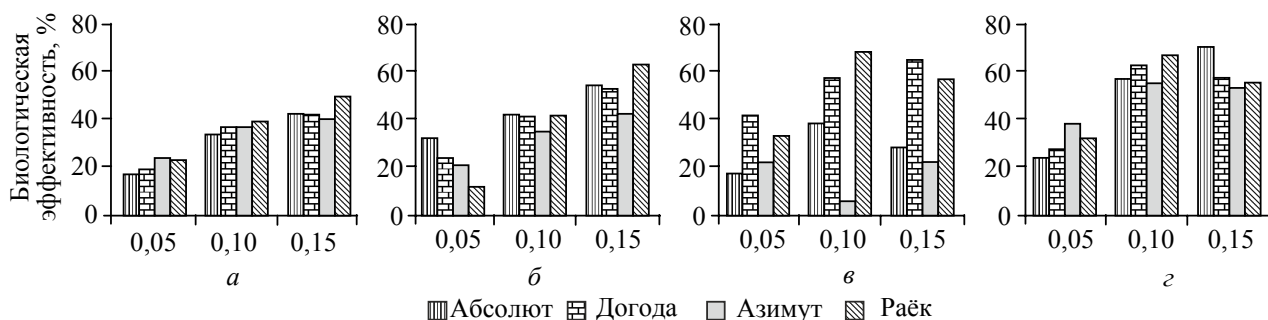


Рис. 2. Биологическая эффективность химических пестицидов, 2016 г.:

а – двукратная обработка, ГЛХУ «Полоцкий лесхоз»;
 б – трехкратная обработка, ГЛХУ «Полоцкий лесхоз»;
 в – двукратная обработка, ГЛХУ «Любанский лесхоз»;
 г – трехкратная обработка, ГЛХУ «Любанский лесхоз»

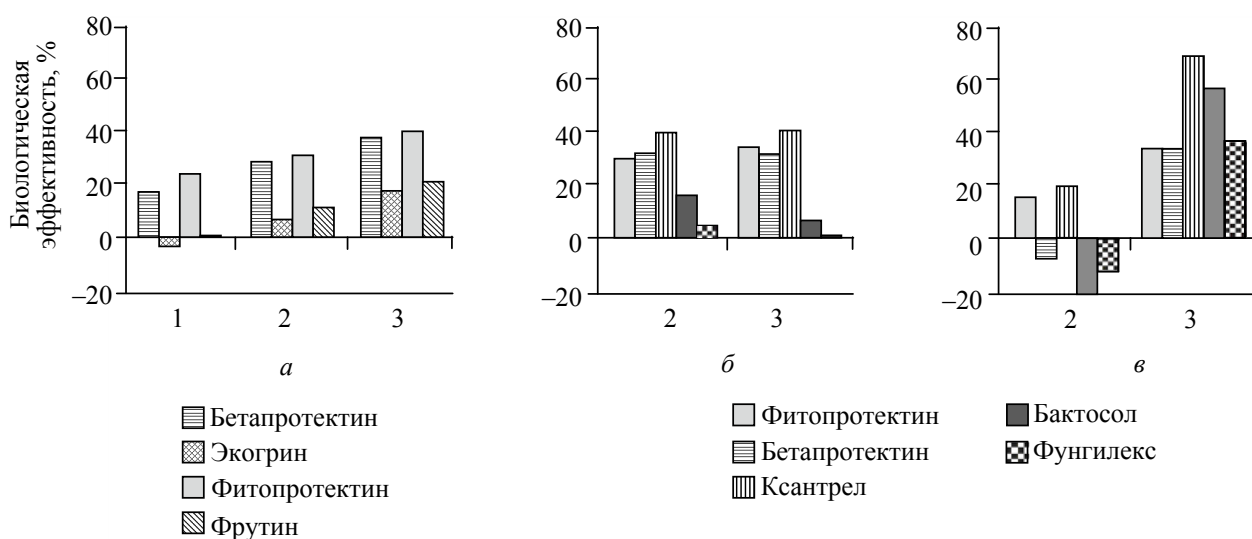


Рис. 3. Биологическая эффективность биологических пестицидов

при различной кратности обработок, 2015–2016 гг.:

а – ГЛХУ «Глубокский лесхоз», 2015 г.; б – ГЛХУ «Полоцкий лесхоз», 2016 г.;
 в – ГЛХУ «Любанский лесхоз», 2016 г.

Самой высокой биологической эффективностью против халарового некроза обладал препарат Ксантрел (67,5%), состоящий из комплекса бактериальных культур и продуктов их метаболизма. Для данного биофунгицида характерен широкий спектр антагонистического действия в отношении фитопатогенных грибов и энтомоцидная активность [26], в связи с чем он был зарегистрирован для защиты овощных культур от вредителей и болезней. Полученные нами данные позволяют рекомендовать его к использованию в питомниках учреждений лесного хозяйства.

Заключение. Проведенные исследования показали, что интенсивность развития заболевания тесно связана с погодными условиями текущего года – температурой и влажностью воздуха. Это обусловлено проникновением первичной инфекции патогена через листовую пластинку, прорастание спор на которой существенно зависит от внешних условий.

Наибольшую эффективность проявили препараты, содержащие тебуконазол и дифеноконазол, пропиконазол, дифеноконазол при трехкратной обработке методом опрыскивания. Защитный эффект сопоставим с результатами испытаний тиабендазола при введении методом инъекций, полученными исследователями Италии и Великобритании [16, 17]. Оптимальная концентрация химических пестицидов в рабочем растворе – 0,1–0,15% по препарату. На основании проведенных исследований препараты Догода, КЭ и Абсолют, КЭ рекомендованы к применению против халарового некроза в лесных питомниках.

Нами впервые были испытаны препараты на основе бактериальных культур против халарового некроза и доказана их эффективность. Наилучшие результаты показал препарат, состоящий из комплекса бактериальных культур (*Bacillus thuringiensis* Berliner, *Bacillus subtilis*

Ehrenberg) и продуктов их метаболизма, – в благоприятных условиях его эффективность близка к эффективности фунгицидов. На основании проведенных исследований данный биофунгицид может быть рекомендован к применению в лесных питомниках Беларуси.

Литература

1. Kowalski T. *Chalara fraxinea* sp. nov. associated with dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Poland // Forest Pathology. 2006. Vol. 36. P. 264–270.
2. Halmschlager E., Kirisits T. First report of the ash dieback pathogen *Chalara fraxinea* on *Fraxinus excelsior* in Austria // Plant Pathology. 2008. Vol. 57, no. 6. P. 1177.
3. Schumacher J., Wulf A., Leonhard S. First record of *Chalara fraxinea* T. Kowalski sp. nov. in Germany – a new agent of ash decline // Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd. 2007. Vol. 59. P. 121–123.
4. First record of *Chalara fraxinea* in Finland and genetic variation among isolates sampled from Åland, mainland Finland, Estonia and Latvia / A. Rytönen [et al.] // Forest Pathology. 2011. Vol. 41, no. 3. P. 169–174.
5. Усыхание ясеня на территории памятника природы «Дудергофские высоты», вызванное грибом *Hymenoscyphus pseudoalbidus*, и морфологические особенности его аскоспор / Д. А. Шабунин [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2012. № 1–2. С. 70–79.
6. Ash dieback: pathogen spread and diurnal patterns of ascospore dispersal, with special emphasis on Norway / V. Timmermann [et al.] // EPPO Bulletin. 2011. Vol. 41, no. 1. P. 14–20.
7. Szabo I. First report of *Chalara fraxinea* affecting common ash in Hungary // Plant Pathology. 2009. Vol. 58, no. 4. P. 797.
8. *Chalara fraxinea* is an invasive pathogen in France / C. Husson [et al.] // European Journal of Plant Pathology. 2011. Vol. 130, no. 3. P. 311–324.
9. Fungi in foliage and shoots of *Fraxinus excelsior* in eastern Ukraine: a first report on *Hymenoscyphus pseudoalbidus* / K. Davydenko [et al.] // Forest Pathology. 2013. Vol. 43, no. 6. P. 462–467.
10. Kowalski T., Czekał A. Disease symptoms and fungi on dying ash trees (*Fraxinus excelsior* L.) in Staszów Forest District stands // Forest Research Papers. 2010. Vol. 71, no. 4. P. 357–368.
11. Особенности развития и мониторинг халарового некроза в ясеневых насаждениях и лесных питомниках / В. Б. Звягинцев [и др.] // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Москва, 18–22 апр. 2016 г. / Федер. агентство науч. орг.; Ин-т леса им. В. Н. Сукачева Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. Красноярск, 2016. С. 83–84.
12. Звягинцев В. Б., Сазонов А. А. Массовое усыхание ясеня обыкновенного в лесах Беларуси // Устойчивое развитие лесов и рациональное использование лесных ресурсов: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 6–7 дек. 2005 г. / М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь; Белорус. гос. техн. ун-т. Минск, 2005. С. 225–227.
13. 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, September 19–23, 2011. P. 21.
14. Звягинцев В. Б., Шарандо А. В., Филиппович В. Н. Роль халарового некроза в процессе деградации ясенников Беларуси // Лесное и охотничье хоз-во. 2014. № 9. С. 8–11.
15. Штукин С. С., Шауро С. Г. Приоритетные типы лесных культур ясеня обыкновенного в условиях Беларуси // Лесное и охотничье хозяйство. 2009. № 1. С. 17–22.
16. Dal Maso E., Cocking J., Montecchio L. Efficacy tests on commercial fungicides against ash dieback in vitro and by trunk injection // Urban Forestry & Urban Greening. 2014. Vol. 13, no. 4. P. 697–703.
17. Application of fungicides and urea for control of ash dieback / T. Hauptman [et al.] // Forest-Biogeosciences and Forestry. 2015. Vol. 8, no. 2. P. 165–171.
18. Fungal endophytes are involved in multiple balanced antagonisms / B. Schulz [et al.] // Curr. Sci. 2015. Vol. 109. P. 39–45.
19. Development of a biocontrol agents for ash dieback using fungal endophytes [Electronic resource] / B. Schulz [et al.] // *Chalara* in Europe: Reports on European Workshop Meeting on *Chalara* Cost Action FP 1103, Fraxback. Dubrovnik, 12–16th of April, 2015. URL: https://www.teagasc.ie/media/website/crops/forestry/Chalara_fraxback_meeting_dubrovnik_apr15.pdf (date of access: 18.11.2015).
20. Schlegel M., Queloz V. Are ash leaf endophytes endangered? [Electronic resource] // *Chalara* in Europe: Reports on European Workshop Meeting on *Chalara* Cost Action FP 1103, Fraxback. Dubrovnik, 12–16th of April, 2015. URL: https://www.teagasc.ie/media/website/crops/forestry/Chalara_fraxback_meeting_dubrovnik_apr15.pdf (date of access: 18.11.2015).

21. Haňáčková Z., Koukol O., Havrdova L. Endophytic fungi in *Fraxinus excelsior* shoots and their antagonistic activities against *Hymenoscyphus fraxineus* [Electronic resource] // *Chalara* in Europe: Reports on European Workshop Meeting on *Chalara* Cost Action FP 1103, Fraxback. Dubrovnik, 12–16th of April, 2015. URL: https://www.teagasc.ie/media/website/crops/forestry/Chalara_fraxback_meeting_dubrovnik_apr_15.pdf (date of access: 18.11.2015).

22. Schoebel C. N., Zoller S., Rigling D. Detection and genetic characterisation of a novel mycovirus in *Hymenoscyphus fraxineus*, the causal agent of ash dieback // *Infection, Genetics and Evolution*. 2014. Vol. 28. P. 78–86.

23. Скрининг средств защиты сеянцев ясеня обыкновенного от халарового некроза / А. В. Ярук [и др.] // Состояние и перспективы защиты растений: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 45-летию со дня организации РУП «Институт защиты растений». Минск – Прилуки, 17–19 мая 2016 г. / Науч.-практ. центр по земледелию; Ин-т защиты растений. Минск, 2016. С. 319–320.

24. Методические указания по регистрационным испытаниям фунгицидов в сельском хозяйстве / РУП «Институт защиты растений». Несвиж: Несвиж. укрупн. тип. им. С. Будного, 2007. 512 с.

25. Подавление роста колоний *Hymenoscyphus fraxineus* биофунгицидами / А. В. Ярук [и др.] // Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов древесных растений: от теории к практике: материалы Всерос. конф. с междунар. участием. Москва, 18–22 апр. 2016 г. / Федер. агентство науч. орг.; Ин-т леса им. В. Н. Сукачева Сиб. отд-ния Рос. акад. наук. Красноярск, 2016. С. 272–273.

26. Биопрепараты и технологии их применения как основа экологизации систем защиты растений / Э. И. Коломиец [и др.] // Микробные биотехнологии: фундаментальные и прикладные аспекты: сб. науч. тр. / Ин-т микробиологии НАН Беларуси. Минск, 2013. Т. 5. С. 252–264.

References

1. Kowalski T. *Chalara fraxinea* sp. nov. associated with dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Poland. *Forest Pathology*, 2006, vol. 36, pp. 264–270.

2. Halmschlager E., Kirisits T. First report of the ash dieback pathogen *Chalara fraxinea* on *Fraxinus excelsior* in Austria. *Plant Pathology*, 2008, vol. 57, no. 6, p. 1177.

3. Schumacher J., Wulf A., Leonhard S. First record of *Chalara fraxinea* T. Kowalski sp. nov. in Germany – a new agent of ash decline. *Nachrichtenbl. Deut. Pflanzenschutzd*, 2007, vol. 59, pp. 121–123.

4. Rytönen A., Lilja A., Drenkhan R., Gaitnieks T., Hantula J. First record of *Chalara fraxinea* in Finland and genetic variation among isolates sampled from Åland, mainland Finland, Estonia and Latvia. *Forest Pathology*, 2011, vol. 41, no. 3, pp. 169–174.

5. Shabunin D. A., Semakova T. A., Davydenko E. V., Vasaitis R. Ash decline in nature monument “Dudergof heights”, caused by the fungus *Hymenoscyphus pseudoalbidus*, and morphological features of its ascospores. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo hozyaystva* [Proceedings of the Saint-Petersburg Forestry Research Institute], 2012, no. 1–2, pp. 70–79 (In Russian).

6. Timmermann V., Borja I., Hietala A. M., Kirisits T., Solheim H. Ash dieback: pathogen spread and diurnal patterns of ascospore dispersal, with special emphasis on Norway. *EPPO Bulletin*, 2011, vol. 41, no. 1, pp. 14–20.

7. Szabo I. First report of *Chalara fraxinea* affecting common ash in Hungary. *Plant Pathology*, 2009, vol. 58, no. 4, p. 797.

8. Husson C., Scala B., Caël O., Frey P., Feau N., Marçais B. *Chalara fraxinea* is an invasive pathogen in France. *European Journal of Plant Pathology*, 2011, vol. 130, no. 3, pp. 311–324.

9. Davydenko K., Vasaitis R., Stenlid J., Menkis A. Fungi in foliage and shoots of *Fraxinus excelsior* in eastern Ukraine: a first report on *Hymenoscyphus pseudoalbidus*. *Forest Pathology*, 2013, vol. 43, no. 6, pp. 462–467.

10. Kowalski T., Czekaj A. Disease symptoms and fungi on dying ash trees (*Fraxinus excelsior* L.) in Staszów Forest District stands. *Forest Research Papers*, 2010, vol. 71, no. 4, pp. 357–368.

11. Zvyagintsev V. B., Sazonov A. A., Yarus A. V., Avdejchik E. S. Aspects of development and monitoring of ash dieback in stands and forest nurseries. *Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem: Monitoring i biologicheskiye metody kontrolya vreditel'ey i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii k praktike* [Materials of All-Russian conference: Monitoring and biological control methods of woody plant pests and pathogens: from theory to practice]. Krasnoyarsk, 2016, pp. 83–84 (In Russian).

12. Zvyagintsev V. B., Sazonov A. A. Mass European ash decline in the forests of Belarus. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: Ustoychivoye razvitiye lesov i ratsional'noye*

ispol'zovaniye lesnykh resursov [Materials International Scientific and Practical Conference: Sustainable development of forests and sustainable forest management]. Minsk, 2005, pp. 225–227 (In Russian).

13. 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.

14. Zvyagintsev V. B., Sharando A. V., Filippovich V. N. The role of chalara necrosis in ash dieback in Belarus. *Lesnoye i okhotnich'e khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2014, no. 9, pp. 8–11 (In Russian).

15. Shtukin S. S., Shauro S. G. Priority types of forest crops of European under the conditions of Belarus. *Lesnoye i okhotnich'e khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2009, no. 1, pp. 17–22 (In Russian).

16. Dal Maso E., Cocking J., Montecchio L. Efficacy tests on commercial fungicides against ash dieback in vitro and by trunk injection. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2014, vol. 13, no. 4, pp. 697–703.

17. Hauptman T., Celar F. A., De Groot M., Jurc D. Application of fungicides and urea for control of ash dieback. *Forest-Biogeosciences and Forestry*, 2015, vol. 8, no. 2, pp. 165–171.

18. Schulz B., Haas S., Junker C., Andrée N., Schobert M. Fungal endophytes are involved in multiple balanced antagonisms. *Curr. Sci*, 2015, vol. 109, pp. 39–45.

19. Schulz B., Junker C., Miller V., Andrée N., Citron Ch., Dickschat J. Development of a biocontrol agents for ash dieback using fungal endophytes [Electronic resource]. *Chalara in Europe: Reports on European Workshop Meeting on Chalara Cost Action FP 1103, Fraxback*. Dubrovnik, 12–16th of April, 2015. Available at: https://www.teagasc.ie/media/website/crops/forestry/Chalara_fraxback_meeting_dubrovnik_apr15.pdf (accessed 18.11.2015).

20. Schlegel M., Queloz V. Are ash leaf endophytes endangered? [Electronic resource]. *Chalara in Europe: Reports on European Workshop Meeting on Chalara Cost Action FP 1103, Fraxback*. Dubrovnik, 12–6th of April, 2015. Available at: https://www.teagasc.ie/media/website/crops/forestry/Chalara_fraxback_meeting_dubrovnik_apr15.pdf (accessed 18.11.2015).

21. Haňáčková Z., Koukol O., Havrdova L. Endophytic fungi in *Fraxinus excelsior* shoots and their antagonistic activities against *Hymenoscyphus fraxineus* [Electronic resource]. *Chalara in Europe: Reports on European Workshop Meeting on Chalara Cost Action FP 1103, Fraxback*. Dubrovnik, 12–6th of April, 2015. Available at: https://www.teagasc.ie/media/website/crops/forestry/Chalara_fraxback_meeting_dubrovnik_apr15.pdf (accessed 18.11.2015).

22. Schoebel C. N., Zoller S., Rigling D. Detection and genetic characterisation of a novel mycovirus in *Hymenoscyphus fraxineus*, the causal agent of ash dieback. *Infection, Genetics and Evolution*, 2014, vol. 28, pp. 78–86.

23. Yaruk A. V., Zvyagintsev V. B., Kolomiets E. I., Molchan O. V., Girilovich N. I. Screening of ash seedlings protecting agents against ash dieback. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii posvyashchennoy 45-letiyu so dnya organizatsii RUP Institut zashchity rasteniy "Sostoyanie i perspektivy zashchity rasteniy"* [Materials of International Scientific and Practical Conference, dedicated 45th anniversary of the organization of RUE Institute of Plant Protection "State and perspectives of plant protection"]. Minsk, 2016, pp. 319–320 (In Russian).

24. *Metodicheskiye ukazaniya po registratsionnym ispytaniyam fungitsidov v sel'skom khozyaystve* [Guidelines for the registration tests of fungicides in agriculture]. Nesvizh, Nesvizhskaya ukрупnennaya tipografiya imeni S. Budnogo, 2007, 512 p.

25. Yaruk A. V., Zvyagintsev V. B., Kolomiets E. I., Molchan O. V., Girilovich N. I. The suppression of *Hymenoscyphus fraxineus* colonies growth by biofungicides. *Materialy Vserossiyskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem: Monitoring i biologicheskiye metody kontrolya vreditel'ey i patogenov drevesnykh rasteniy: ot teorii k praktike* [Materials of All-Russian conference: Monitoring and biological control methods of woody plant pests and pathogens: from theory to practice]. Krasnoyarsk, 2016, pp. 272–273 (In Russian).

26. Kolomiets E. I., Molchan O. V., Ananyeva I. N., Romanovskaya T. V., Rubel I. E., Berezhnaya A. V. Biopreparations and their application technologies as a basis for ecologization of plant protection systems. *Mikrobnyye biotekhnologii: fundamental'nyye i prikladnyye aspekty: sbornik nauchnykh trudov* [Microbial biotechnology: fundamental and applied aspects: Proceedings of scientific papers]. Minsk, 2013, vol. 5, pp. 252–264 (In Russian).

Информация об авторах

Ярук Анна Владимировна – аспирант кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: smile_04@mail.ru

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

Information about the authors

Yaruk Anna Vladimirovna – PhD student, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: smile_04@mail.ru

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

Поступила 25.10.2016

УДК 712.4:502.12(476.7)

О. Н. Левшук, Т. А. Середич

Полесский государственный университет

**ОРГАНИЗАЦИЯ ОПТИМАЛЬНЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ
НА ТЕРРИТОРИИ ЧУП «ДИАРСАД» И ПЕРСПЕКТИВА ЕГО РАЗВИТИЯ**

Выполнен анализ озеленения и благоустройства частного унитарного предприятия «ДиАр-Сад». Функциональное зонирование территории не продумано, а озеленение территории не достаточно. Проведена инвентаризация зеленых насаждений с оценкой качественного состояния древесных насаждений. Преобладают в основном здоровые растения. Выявлены экологические проблемы данной территории антропогенного характера: шумовое воздействие на окружающую среду, уплотнение почв, загазованность.

Подготовлен комплекс мероприятий по оптимизации и реабилитации существующей территории с повышением эстетических и рекреационных качеств. Разработан проект озеленения и благоустройства объекта. Создано функциональное зонирование территории в соответствии с ее назначением. Спроектирована организованная дорожно-тропиночная сеть с дополнительными дорожками – это снизит уплотнение почв. Оборудованы места для групповых детских игр с необходимым игровым инвентарем и зоны интеллектуального отдыха с прогулочным сквером пейзажного типа. Ассортиментная ведомость, в которой приведено количество предлагаемого посадочного материала, соответствует нормам озеленения. В озеленении детского сада применены различные растения, кустарники, цветники, газоны. Акцент будет направлен на защиту участка от ветра, шума, пыли, болезнетворных микроорганизмов. Реализация запланированного проектного предложения будет способствовать решению проблем, связанных с экологическим состоянием благоустраиваемой территории.

Ключевые слова: проект, дорожно-тропиночная сеть, ассортимент, экологический комфорт, озеленение.

O. N. Levshuk, T. A. Seredich

Polesski State University

**ORGANIZATION OF THE OPTIMAL ECOLOGICAL CONDITIONS
ON THE TERRITORY OF THE PUE "DIARSAD"
AND THE PROSPECT OF ITS DEVELOPMENT**

The analysis of the landscape of the private preschool institution "DiArSad". Functional zoning is not thought out, and the landscaping is not enough. An inventory of greenery with the assessment of the quality status of tree plantations. Dominated by healthy plants. Identified environmental problems of the territory anthropogenic nature: noise impact on the environment, soil compaction, pollution.

Prepared a complex of measures on optimization and rehabilitation of existing territories by increasing the aesthetic and recreational qualities. Designed the project landscaping and improvement of the facility. Created functional zoning of the territory in accordance with its purpose. Organized designed road and path network with additional tracks – this will reduce compaction of soils. Equipped places for children to play group with the necessary game equipment, and intellectual recreation area with walking square landscape type. Product sheet that shows the amount of planting material that meets the standards of the landscaping. In the greening of the kindergarten used a variety of plants, shrubs, flower beds, lawns. The emphasis will be aimed to protect the area from wind, noise, dust, pathogenic microorganisms. The implementation of the planned project proposal will contribute to solving the problems associated with the environmental condition of the landscape the territories.

Key words: project, road and path network, range, environmental service, landscaping.

Введение. Детские дошкольные учреждения являются наиболее массовыми объектами гражданского строительства, проектирование и строительство которых тесным образом связано с реализацией жилищной программы.

При помощи озеленения на участке детского сада создаются наиболее благоприятные микроклиматические и санитарно-гигиенические условия.

В рамках выполнения госпрограммы на базе кафедры ландшафтного проектирования Полесского государственного университета был разработан проект озеленения и благоустройства частного дошкольного учреждения «ДиАр-Сад». Новизна проекта заключается в территориальной особенности участка проектирования, состоящего из двух частей, которые необходимо увязать между собой с учетом экологиче-

ских требований к озеленению дошкольных учреждений. Практическая значимость проектного решения состоит в том, что реализация проекта позволит усилить его социальную роль, обеспечить озеленение территории и будет способствовать пребыванию детей в наиболее безопасной и экологически комфортной для жизнедеятельности среде.

Основная часть. В течение последних десятилетий общество столкнулось с проблемой возрастания антропогенной нагрузки на окружающую среду. Ухудшение экологической ситуации, снижающее уровень комфортности жизни человека, вызывает рост заболеваемости и смертности, сокращает продолжительность и качество жизни, а также негативно сказывается на производительности труда, снижая экономический эффект как на уровне отдельных территорий, так и государства в целом.

Ежегодно в городах увеличивается количество населения, соответственно и число детей дошкольного возраста. Вместе с этим возрастает потребность в обустроенных детских дошкольных учреждениях. Поэтому требуется проведение специализированных мероприятий, направленных на увеличение доли зеленых насаждений (до 60%) в общем балансе территории. Детские дошкольные учреждения являются важными объектами обслуживания населения жилых районов и микрорайонов города. Системы зеленых насаждений, взаимосвязанные с детскими садами, являются здесь основной архитектурно-пространственной организации территории.

Детское дошкольное учреждение «ДиАрСад» посещает 12 воспитанников. Проектируемая территория состоит из двух участков площадью 0,15 и 0,30 га. Это соответствует нормам из расчета на одно место 35 м². Функциональное зонирование не продумано, вся территория организована как одна большая общая площадка. Озеленение территории осуществляется только по периметру забора с внутренней стороны ограждения одного участка, где в хаотичном порядке расставлены детские игровые снаряды. Детсад расположен вдали от магистральных дорог и выброс выхлопных газов не превышает допустимые нормы. Отсутствие промышленных предприятий способствует созданию благоприятной экологической ситуации в районе размещения детского сада.

В ходе исследований выполнен анализ экологических условий на основании проведенной инвентаризации зеленых насаждений, разработаны проектные предложения благоустройства дошкольного учреждения для создания его благоприятного экологического комфорта. При инвентаризации существующих насаждений

применялись методы общего анализа данных и классификаций, рекомендованные специально разработанной инструкцией [1].

Общее количество произрастающих древесно-кустарниковых растений – 13 шт. Существующие насаждения представлены следующими породами: туя западная «Смарагд», туя западная «Брабант», ель голубая, гортензия метельчатая, роза плетистая, персик декоративный, слива оттопыренная, яблоня садовая. Среди перечисленных пород преобладают деревья – 11 шт. (85%), количество кустарников составило 2 шт. (15%). Хвойных растений – 8 шт. (62%), лиственных – 5 шт. (38%). Вид посадки – одиночная. Преобладают здоровые растения, не имеющие внешних признаков повреждения кроны и ствола, мертвых и отмирающих ветвей нет. Листья и хвоя имеют характерный порода цвет.

Во время инвентаризации проводилась оценка качественного состояния древесных насаждений. Для оценки состояния древесных насаждений выделяется пять классов.

К первому классу состояния древесной растительности (здоровое дерево) относится 9 шт., ко второму классу (ослабленное или поврежденное дерево) – 2 шт., деревьев третьего, четвертого и пятого классов отсутствуют. Следовательно, преобладают здоровые растения, не имеющие внешних признаков повреждения кроны и ствола, мертвых и отмирающих ветвей нет. Листья и хвоя имеют характерный порода цвет.

Распределение древесно-кустарниковых элементов растительного мира по группам возраста показало, что на территории детского дошкольного учреждения произрастает девять растений имоторной группы (до пяти лет после посадки) и четыре растения вергинильной группы (5–20 лет), что составляет 69 и 31% соответственно. Растения в основном средневозрастные (20–40 лет), старые (более 40 лет) – отсутствуют, что объясняется непродолжительным периодом после ввода объекта в эксплуатацию.

Имеющиеся на участке две клумбы занимают площадь 4 и 8 м². Их ассортимент представлен однолетними и многолетними культурами. Цветники без увядших растений и без сорняков. Общая площадь рекогностируемого газона составляет 320 м² – без пролысин и с хорошо развитым травостоем.

Экологические проблемы данной территории носят антропогенный характер. С южной стороны от объекта проектирования на расстоянии 15 км проложены железнодорожные пути, в связи с этим отмечается шумовое воздействие на окружающую природную среду.

Уплотнение почв наблюдается на двух участках нерациональной организации дорожно-тропиночной сети. Загазованность в пределах допустимой нормы, так как оживленного движения автомобильного транспорта нет. Замусоренность и захламленность территории отсутствуют. Распространение водной эрозии на участке не отмечается.

Опираясь на теоретический метод исследований, в качестве основных мероприятий для решения проблем предлагается снизить шумовое загрязнение и загазованность, включив в посадочный ассортимент широколиственные древесно-кустарниковые растения, которые способствуют уменьшению интенсивности шума и влиянию выхлопных газов. Уплотнение почв предлагается уменьшить созданием организованной дорожно-тропиночной сети и оборудованием мест, создав благоприятные условия для развития и отдыха воспитанников детского сада. Во избежание замусоренности и захламленности на участке необходимо своевременное проведение мероприятий по экологической реставрации, что способствует восстановлению экологической целостности ландшафта после нанесенного ему ущерба.

При разработке мероприятий по ландшафтной организации территории детского сада «ДиАрСад», опираясь на результаты исследований, был подготовлен комплекс мероприятий по оптимизации и реабилитации существующей территории, а также запроецированы оптимальные экологические условия на данной территории с повышением ее эстетических и рекреационных качеств и характеристик. Необходимо существенно увеличить плотность посадок деревьев, кустарников, цветников, так как она не соответствует гигиеническим требованиям к устройству, содержанию и режиму деятельности учреждений дошкольного образования. Согласно нормативам озеленения детских дошкольных учреждений, общее количество деревьев на 1 га площади должно составлять 75 шт. (15 шт. – плодовые, 60 шт. – лиственные, 1 шт. – хвойные), кустарников – 625 шт., а суммарная площадь цветников – 25 м² [3], т. е. на изучаемой территории нужно высадить 66 деревьев, 623 кустарника и создать цветники суммарной площадью 13 м².

Установлено, что среди зеленых насаждений запыленность воздуха в 2–3 раза меньше, чем на открытых городских территориях. Лучшее всего задерживают пыль шершавые листья и листья, поверхность которых покрыта ворсинками, как у сирени. Высокую звукопоглощающую способность имеют деревья с густой кроной и листьями – клен, тополь, липа, дуб. Лучшими экранизирующими свойствами ха-

рактеризуются смешанные насаждения, состоящие из деревьев и кустарников, особенно с хорошей горизонтальной и вертикальной сомкнутостью. Поэтому важно рационально подобрать ассортимент древесных и кустарниковых пород и сформировать сложное по структуре древостоя насаждение – многоярусное, с хорошо развитой опушкой.

В качестве решения выявленных проблем спроектирована организованная дорожно-тропиночная сеть с дополнительными дорожками и оборудованы места для групповых детских игр с необходимым игровым инвентарем, полысы из декоративных кустарников в качестве ограничителей пространства. В частности, было разработано функциональное зонирование территории в соответствии с ее назначением. Так как упор в проекте делается на создание благоприятного экологического комфорта, то для оформления площадок и дополнительных дорожек использованы натуральные материалы: деревянные спилы, гравиевая отсыпка и натуральный камень.

Все зоны между собой будут связаны дорожками и дорожками, дополнительную организацию пространства будут осуществлять живые изгороди. Особое внимание следует уделить благоустройству свободной территории участка, которая будет использоваться под организацию спортивной детской площадки и зоны интеллектуального отдыха с прогулочным сквером пейзажного типа.

В озеленении детского сада применены высокие растения, кустарники, цветники, газоны. Для проектируемой территории будут наиболее уместны групповые посадки. Также акцент будет направлен на посадку солитеров, а для защиты участка от ветра, шума, пыли по периметру создают живую изгородь из рядовых посадок деревьев и кустарников.

Ассортиментная ведомость, в которой приведено количество предлагаемого посадочного материала, соответствующее нормам озеленения, представлена в таблице. Указанные кустарники отобраны благодаря своей компактности, хорошей переносимости обрезки, декоративности, длительному цветению, они же являются наиболее пыле- и газостойчивыми.

Особое внимание уделяется хвойным растениям, так как они декоративны и выделяют фитонциды – биологически активные вещества, которые обладают свойством уничтожать болезнетворные микроорганизмы, а также перекликаются с уже существующими насаждениями. Снижение респираторных заболеваний – следствие фитонцидных свойств таких растений.

Ассортиментная ведомость древесно-кустарниковой и цветочной растительности

Название	Декоративные признаки	Высота, см	Количество, шт.
Бирючина овальнолистная (<i>Ligustrum ovalifolium</i>)	Декоративно-лиственное	60–70	409
Форзиция яйцевидная (<i>Forsythia ovata</i>)	Декоративно-цветущее	100–110	29
Спирея японская (<i>Spiraea japonica</i>)	Декоративно-цветущее	60–70	62
Чубушник венечный (<i>Philadelphus coronarius</i>)	Декоративно-цветущее	80–100	10
Гортензия черешковая (<i>Hydrangea petiolaris</i>)	Декоративно-цветущее	100–110	15
Сирень обыкновенная (<i>Siringa vulgaris</i>)	Декоративно-цветущее	120–130	89
Смородина золотистая (<i>Ribes aureum</i>)	Декоративно-лиственное	70–80	5
Кипарисовик Лавсона (<i>Chamaecyparis lawsoniana</i>)	Декоративно-лиственное	140–150	5
Можжевельник казацкий форма пестрая (<i>Juniperus sabina 'Variegata'</i>)	Декоративно-лиственное	50–55	9
Туя западная форма золотистая Эльвангера (<i>Thuja occidentalis ellwangeriana Aurea</i>)	Декоративно-лиственное	140–150	60
Рябина обыкновенная (<i>Sorbus aucuparia</i>)	Декоративно-лиственное	180	38
Клен остролистный форма штамбовая (<i>Acer platanoides 'Globosum'</i>)	Декоративно-лиственное	160–170	27
Береза бородавчатая (<i>Betula pendula</i>)	Декоративно-лиственное	200	12
Дуб красный (<i>Quercus rubra</i>)	Декоративно-лиственное	220	35
Бегония вечноцветущая форма розово-красная (<i>Begonia semperflorens 'Devil Red'</i>)	Декоративно-лиственное	15–20	204
Агератум мексиканский (<i>Ageratum mexicanum</i>)	Декоративно-цветущее	30	116
Эхеверия сизая (<i>Echeveria glauca</i>)	Декоративно-лиственное	5–8	50
Очиток ложный (<i>Sedum spurium</i>)	Декоративно-цветущее	15–18	126
Хоста ланцетолистная (<i>Hosta lancifolia</i>)	Декоративно-лиственное	35–45	15
Алиссум морской (<i>Alyssum maritimum</i>)	Декоративно-цветущее	10–15	116
Мискантус китайский (<i>Miscanthus sinensis</i>)	Декоративно-цветущее	55–60	4
Хризантема альпийская (<i>Chrysanthemum alpinum</i>)	Декоративно-цветущее	30–35	37
Бархатцы низкорослые форма махровая ванильно-лимонная (<i>Tagetes patula erecta</i>)	Декоративно-цветущее	12–15	15
Котовник Фассена (<i>Nepeta faassenii</i>)	Декоративно-цветущее	25	18
Ирис сибирский (<i>Iris sibirica</i>)	Декоративно-цветущее	40–45	4
Ясколка войлочная (<i>Cerastium tomentosum</i>)	Декоративно-цветущее	20–25	8
Манжетка мягкая (<i>Alchemilla mollis</i>)	Декоративно-цветущее	25–30	24
Крестовник пепельный (<i>Jacobaea maritima</i>)	Декоративно-лиственное	15–20	79
Астильба Арендса форма фиолетово-розовая (<i>Astilbe arendsii 'Scarlett'</i>)	Декоративно-цветущее	20–25	22
Адонис амурский (<i>Adonis amurensis</i>)	Декоративно-цветущее	10–15	8
Барвинок малый (<i>Vinca minor</i>)	Декоративно-лиственное	25–35	2
Виноград девичий пятилисточковый (<i>Parthenocissus quinquefolia</i>)	Декоративно-лиственное	70–80	17
Клематис фиолетовый форма пурпурно-розовая (<i>Clematis viticella 'Victoria'</i>)	Декоративно-цветущее	75–90	4
Петуния каскадная форма крупноцветковая (<i>Petunia cascadias 'Surfinia'</i>)	Декоративно-цветущее	25–35	16

Примечание. Представленный ассортимент создаст плотные посадки по всему периметру территории дошкольного учреждения, обеспечит детские игровые площадки необходимым инсоляционным режимом. Из ассортимента исключены растения с колючками и ядовитыми плодами.

Цветники на проектируемой территории встречаются у главных входов на участки проектирования и на самой территории детского сада. Вертикальное озеленение позволит задекорировать забор по периметру территории детского сада, а также будет зеленым фильтром окружающей среды. Ампельные растения ак-

кумулируют толуол, ксенон, формальдегиды, переводят тяжелые металлы в форму, не опасную для человека. Согласно экологической политике Республики Беларусь, сохранение благоприятной окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов для удовлетворения потребностей ныне живущих и бу-

дущих поколений являются высшим приоритетом Национальной стратегии устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь на период до 2020 года. Реализация запланированных проектных предложений позволит предотвратить экологические проблемы данного участка, а также компенсировать нехватку зеленой массы на территории проектирования, тем самым внесет ощутимый вклад в формирование гармоничного, развивающегося и экологически устойчивого пространства Брестского региона. Предложенный вариант благоустройства детского сада повысит его авторитет среди других дошкольных учреждений.

Заключение. Реализация запланированных проектных предложений будет способствовать решению ряда проблем, связанных с экологическим состоянием благоустраиваемой территории:

– функциональное зонирование обеспечит организацию экологического комфорта для воспитанников дошкольного учреждения;

– предложенная организация территории будет способствовать становлению интеллектуального потенциала будущего поколения;

– предложенный ассортимент будет содействовать защите окружающей среды от вредных выбросов и снижению респираторных заболеваний благодаря фитонцидным свойствам растений;

– декоративность подобранной древесно-кустарниковой растительности послужит созданию спокойной и уютной атмосферы.

Воплощение перечисленных мероприятий имеет социальную значимость, хоть и предполагает существенные денежные вложения. При этом необходимо учитывать, что комфортная среда обитания является необходимым условием социально-экономического развития данной территории. Согласно критерию эффективности природоохранных мероприятий Паретто, мероприятие считается эффективным, если в результате его осуществления ни один субъект не ухудшит свое состояние, но по крайней мере один его улучшит. Инвестиции в создание и поддержание экологического комфорта детского сада будут не только способствовать формированию устойчивого социально-природного ландшафта учреждения дошкольного образования, но и иметь экономический эффект.

Литература

1. Инструкция о порядке государственного учета объектов растительного мира, расположенных на землях населенных пунктов, и обращения с ними: постановление М-ва жилищно-комму. хоз-ва Респ. Беларусь, 29 дек. 2004., № 40 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2005. № 8/12301.

References

1. *National'nyy reyestr pravovykh aktov Respubliki Belarus'* [National register of legal acts of the Republic of Belarus]. 2005. № 8/12301.

Информация об авторах

Левшук Оксана Николаевна – старший преподаватель кафедры ландшафтного проектирования. Полесский государственный университет (225710, Брестская обл., г. Пинск, ул. Пушкина, 4, Республика Беларусь). E-mail: levshuk-2011@mail.ru

Середич Татьяна Адамовна – заведующая учебно-опытным участком биотехнологического факультета. Полесский государственный университет (225710, Брестская обл., г. Пинск, ул. Днепровской флотилии, 23, Республика Беларусь). E-mail: danilyuk.tatjana@yandex.ru

Information about the authors

Levshuk Oksana Nikolayevna – Senior Lecturer, the Department of Landscape Design. Polesski State University (4, Pushkina str., 225710, Pinsk, Brest Region, Republic of Belarus). E-mail: levshuk-2011@mail.ru

Seredich Tat'yana Adamovna – chief training and experimental plot of Department of biotechnology. Polesski State University (23, Dneprovskoy flotilii str., 225710, Pinsk, Brest Region, Republic of Belarus). E-mail: danilyuk.tatjana@yandex.ru

Поступила 16.02.2016

ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

УДК 338.48:502

Н. И. Зданович, Я. А. Шапорова, В. М. Каплич, О. В. Бахур
Белорусский государственный технологический университет

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ТРОПА «СКАЗКА НЕГОРЕЛЬСКОГО ЛЕСА» КАК ОБЪЕКТ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ТУРИЗМА

Внимание к экологизации общей культуры человечества – ведущая тенденция в современной мировой практике. Высшая школа призвана готовить кадры, которые будут на практике реализовывать подходы и принципы экологизации конкретного региона и сообщества. Сохранение национальных традиций, передача их подрастающему поколению коренного населения, ознакомление и привитие этнокультуры мигрантам одновременно способствуют отказу от потребительского отношения к природе. Экологическая тропа в условиях крупного промышленного центра является эффективным фактором формирования экологического сознания. Она использовалась в качестве учебной фактически с момента открытия, особенно во время летних учебных практик. Одной из целей создания экологической тропы было формирование у студентов навыков самостоятельного анализа экскурсионных объектов. Во время летних учебных практик и обзорных экскурсий для студентов университета на каждом из 11 остановочных пунктов тропы раскрывалось несколько базовых подтем, исходя из определенной флористической или историко-культурной ценности объектов тропы, проверялись навыки владения методикой определения и описания растений.

Ключевые слова: экологическое образование, экологическая тропа, этнокультура, единство естественного и антропогенного, мифологические персонажи, навыки самостоятельного анализа экскурсионных объектов.

N. I. Zdanovich, Ya. A. Shapороva, V. M. Kaplich, O. V. Bachur
Belarusian State Technological University

ECOLOGICAL PATH “THE TALE OF THE NIEGORELOJE FOREST” AS AN OBJECT OF EDUCATIONAL TOURISM

Attention to greening of common human culture is a leading trend in modern international practice. Higher school is designed to train personnel, which will implement the approaches and principles of greening for a particular region or community. The preservation of national traditions and sharing them with younger generation of native population, familiarization and cultivation of ethnoculture in migrants and simultaneously help to abandon consumer attitude to nature. An ecological path in a large industrial center is an effective factor of ecological consciousness formation. It has actually been used as a training environment from the opening date, especially during summer practice. One of the goals of the ecological path creation has been the formation of skills of independent analysis of excursion objects for students. During summer practice and highlight tours for university students a few basic sub-themes have been discussed in each of the 11 stopping points, based on certain floral or historical and cultural value of the objects of the path, the skills of plant classification and description have been checked.

Key words: ecological education, ecological path, ethnoculture, unity of natural and anthropogenic, mythological characters, skills of independent analysis of excursion objects.

Введение. Экологический кризис, вызванный глобальными проблемами современности, несет угрозу человеческой цивилизации и жизни вообще. Для предотвращения надвигающейся катастрофы начиная с конца 60-х гг. XX в. особое внимание стало уделяться процессу экологизации общей культуры человечества и,

как следствие, формированию теории и практики экологического образования.

Впервые термин «экологическое образование» использовался на конференции, организованной Международным союзом охраны природы в 1970 г. Однако окончательное его определение сформировалось лишь к 1992 г.,

когда на конференции ООН по окружающей среде и развитию были сформулированы задачи экологического образования как необходимые условия развития общества. Поставленные задачи имеют точные и конкретные формулировки. Так, одной из задач, отраженной в восьмой главе, является «использование опыта и понимание проблемы устойчивого развития коренными народами в системе образования и подготовки кадров» [1]. На основании этого высшая школа призвана готовить кадры, которые в своей профессиональной деятельности будут на практике реализовывать подходы и принципы экологизации конкретного региона и сообщества.

Решение этой задачи связано с внедрением в образовательную сферу новых технологий, направленных на личный рост, самореализацию студентов. Это значит, что необходимо обеспечить выпускника не столько суммой знаний, сколько умением собирать эти знания для адаптации в постоянно меняющемся обществе, проектировать и воплощать в жизнь эффективные решения проблем, соответствующие приоритетам устойчивого развития демократического общества. Вовлечение молодых граждан в общественно значимые проекты еще со студенческой скамьи позволяет максимально приблизить их к реалиям современной жизни, отработать навыки успешного взаимодействия с различными слоями общества, совершенствовать свои профессиональные навыки. Непосредственное общение с природой и культурными ландшафтами дает максимальное количество знаний о родном крае, о позитивных и негативных процессах, происходящих в «среде обитания» человека. Следует также не забывать и о том, что в наше время происходит глобальное перемещение людей как из деревни в город на постоянное место жительства, так и из одних регионов планеты в другие. Это ведет к утрате традиционных экокультурных связей и устоев не только на региональном уровне, но и в глобальном масштабе. Сохранение национальных традиций, передача их подрастающему поколению коренного населения, ознакомление и привитие этнокультуры мигрантам гармонизирует экологическое мышление общества в целом и, как следствие, мотивирует отказ от потребительского отношения к природе.

Основная часть. Рост городов и их экономической базы, расширение застроенных территорий, увеличение числа автомобилей, средств общественного транспорта, развитие сферы потребления связаны со все большим натиском городов на окружающую природную среду, и масштабы этого процесса растут год от года. Именно в условиях урбанизированной

среды наиболее резко проявляется кризис системы человек – природа, так как нарушаются исторически сложившиеся пути передачи информации из поколения в поколение – «ад старога да малога». Поэтому экологическая тропа в условиях крупного промышленного центра является эффективным фактором формирования представлений о единстве живой и неживой природы, единстве естественного и антропогенного в окружающем нас мире, т. е. фактором формирования экологического сознания.

Естественные (природные) ресурсы являются главным источником получения необходимых людям материальных и нематериальных благ. К ним относятся элементы природы, которые на данном уровне развития производительных сил используются или могут быть использованы для удовлетворения потребностей человеческого общества. В отношении ресурсов природа рассматривается с учетом как интересов производства (земельные, водные ресурсы и др.), так и условий жизнедеятельности людей (рекреационные, лечебные ресурсы и др.). Экскурсии «в природу», в том числе по экологической тропе, являются популярным и распространенным рекреационным ресурсом. Они же являются одной из инноваций в сфере образовательных технологий, которые способствуют подготовке высококвалифицированных специалистов в области природопользования.

В разных странах тропы называются по-разному: тропа природы, научная трасса, естественно-экологическая тропа. Протяженность таких познавательных троп природы рассчитана на прохождение их в течение нескольких часов или нескольких дней.

Экологическая тропа «Сказка Негорельского леса» рассчитана на прохождение ее в пределах 2,5 ч [2].

На маршруте выделено 11 остановочных пунктов: 5 – в партерной части, 6 – в дендропарке. На каждом из них раскрывается несколько базовых подтем, исходя из определенной флористической или историко-культурной ценности экскурсионных объектов:

– остановочный пункт № 1 «Захавальнікі саду» формирует у посетителей представление о гармонии – природной и рукотворной – через понятие «модульная система», а также знакомит с разнообразными свойствами туи западной и, в зависимости от времени года, с высаженными здесь цветами. Гигантские туи символически воспринимаются как хранители тайн и богатств сада;

– остановочный пункт № 2 «Мядзведжы куток» позволяет реализовать возможность показа реального природного единства флоры

и фауны, знакомит с народными легендами о медведе и отдельных растениях («журавинах», бузине черной). Виртуальное присутствие живого медведя обозначено деревянной скульптурой;

– остановочный пункт № 3 «Каменная казка» – прекрасная возможность разграничить понятия «рокарий» и «альпийская горка», напомнить о геологических особенностях территории Беларуси, роли камней в жизни и духовной культуре белорусов и ее цветочно-декоративных травянистых растениях. Студенты демонстрируют свои знания по определению видов этих растений;

– остановочный пункт № 4 «Пчаліны мегаполіс» закрепляет знания экскурсантов о пчеловодстве (начиная с бортничества), пчелах (включая легенды) и среде их обитания. Кроме того, здесь тропа переходит из партерной части в дендрарий, с которого когда-то начинался ботанический сад, о чем посетители узнают из материалов стенда. Аллея, ведущая к следующему пункту, дает возможность поговорить о болезнях леса и его вредителях;

– экскурсионный рассказ и объекты показа остановочного пункта № 5 (стенд «Духи леса» [3], скульптуры Гаюна, его домик и внушки-Гаевки) акцентируют внимание на природоохранной теме в традиционной культуре через широкое использование народных легенд. Здесь же закрепляются понятия «аборигены» и «интродуценты» во флоре Беларуси, а также отдельные вопросы энтомологии и микологии;

– экскурсионный рассказ и объекты показа остановочного пункта № 6 «Прытулак мігрантаў» продолжают природоохранную тему (Лесовик как главный защитник обитателей леса) и вместе с тем дают возможность продемонстрировать роль ботанических садов в создании биологического разнообразия на земле;

– остановочный пункт № 7 «Царства голанасенных» рассчитан на активное участие экскурсантов в изучении отличительных особенностей хвойных растений, включая псевдотсугу. Арт-объекты и стенд-загадка позволяют закрепить знания о разнообразии интродуцированных и аборигенных хвойных растений;

– остановочный пункт № 8 «У гасцях у Лазавіка» дает возможность перейти от хвойных к лиственным деревьям и раскрыть подтему о роли болот и разнообразных болотных растений в жизни местного населения, используя стенд «Беларускія промыслы: вырабы з лазы» и рассказ о мифологических персонажах (Лозовике и Лозниках);

– остановочный пункт № 9 «Залаты арэшак» благодаря наличию стенда «Віды роду

Арэх» и арт-объектов «Орехи» позволяет закрепить методику определения видов данного рода через разнообразные задания с использованием наглядного материала;

– остановочный пункт № 10 «Геаметрыя ў прыродзе», находящийся уже в партерной части сада, дает возможность раскрыть подтему стилистического разнообразия в истории садово-паркового искусства как отражения климатического разнообразия на Земле и отражения менталитета народов. Кроме того, здесь наглядно демонстрируются приемы ландшафтного дизайна с использованием многочисленных растений в оформлении пространства;

– остановочный пункт № 11 «Кветкавая феерыя Русалкі» наряду со знакомством (или закреплением знаний) по подтемам «Одно- и многолетние цветущие декоративные растения» и «Красиво цветущие кустарники» благодаря наличию пруда с фонтаном и сидящей на его берегу Русалкой позволяет рассмотреть подтему «Духи воды в мифологии белорусов».

Экологическая тропа «Сказка Негорельского леса» создана в соответствии с «Рекомендациями по развитию экологического туризма в Беларуси» [4] и использовалась в качестве учебной фактически с момента открытия в мае 2015 г. Тропа была одним из мест проведения летних учебных практик по дисциплинам «Энтомология», «Микология», «Флористические ресурсы туризма», «Недревесные ресурсы леса с основами рыбоводства и пчеловодства», «Экскурсионно-туристическая практика».

Благодаря наличию в ботаническом саду большого количества цветочно-декоративных травянистых растений и красиво цветущих кустарников вид объектов на тропе постоянно изменяется. Студенты не только имеют возможность проследить их жизненный цикл в течение всего вегетационного периода, но и отработать методику отбора экскурсионных объектов на природоведческих маршрутах в зависимости от их привлекательности для туристов в различные периоды вегетации.

На маршруте экологической тропы студенты 2-го курса закрепляли навыки ведения природоведческих экскурсий: отработывали методические приемы экскурсионного рассказа и показа, техники ведения экскурсии, навыки анализа природных экскурсионных объектов. Маршрут тропы позволяет развивать навыки разработки и самостоятельного построения экскурсионного рассказа на разнообразные темы, связанные с природопользованием, экологией и традиционной культурой.

В сентябре в качестве экскурсантов ее посетителями стали студенты-первокурсники лесо-

хозяйственного факультета. Их экскурсоводами на тропе были не только преподаватели, но и студенты 3-го и 4-го курсов специальности «Туризм и природопользование».

Заключение. Непродолжительный период функционирования тропы показал, что именно на ней студенты находят ответы на вопросы о том, как человек воздействует на природу, как природа воздействует на человека, как сделать так, чтобы эти взаимодействия были гармоничными. Только при критическом взгляде на то, что тебя окружает, приходит понимание своего места в окружающем мире, осознание «чувства хозяина», желания изменить этот мир к лучшему. Во время ведения экскурсий по тропе отрабатывается методика построения единого экскурсионного рассказа, апробируются разнообразные варианты логических переходов на экскурсионно-туристической практике, проверяются навыки владения методикой определения

и описания растений на практике по флористическим ресурсам, изучаются болезни леса и лесные ресурсы во время практик по дисциплинам «Энтомология» и «Микология». Знакомство с мифологическими персонажами, использованием природных материалов в качестве сырьевого ресурса для ремесленного производства способствует приобщению студентов и экскурсантов к традиционной культуре белорусов, содействует патриотическому воспитанию будущих специалистов в сфере туризма и природопользования.

Выгодное географическое расположение Ботанического сада при условии умелой рекламы в будущем может содействовать включению экскурсии по экологической тропе «Сказка Негорельского леса» в программы загородных экскурсий в Мирский, Несвижский замки и другие экскурсионные маршруты, проходящие по трассе Минск – Брест.

Литература

1. Масилевич Н. А. Современная концепция и социально-экономические аспекты развития экологического туризма в Республике Беларусь // Труды БГТУ. 2012. № 7: Экономика и управление. С. 78–81.
2. Зданович Н. И., Каплич В. М., Шапорова Я. А. Концепция проектируемой экологической тропы «Сказка Негорельского леса» // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хозяйство. С. 256–259.
3. Зямная дарога ў вырай: Беларускія народныя прыкметы і павер'і. Кн. 3 / уклад. У. Васілевіч. Мінск: Маст. літ., 1999. 654 с.
4. Рекомендации по развитию экологического туризма в лесном хозяйстве Беларуси [Электронный ресурс] // Белгипролес. 2008. URL: www.belgiproles.by/documents/doc_60.pdf (дата обращения: 28.02.2015).

References

1. Masilevich N. A. Modern concept and social and economic aspects of the development of ecological tourism in the Republic of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 7: Economics and Management, pp. 78–81 (In Russian).
2. Zdanovich N. I., Kaplich V. M., Shaporova Ya. A. The concept of the ecological path project “The tale of the Negoreloje forest”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 256–259 (In Russian).
3. Vasilievich U. *Zyamnaya daroga u vyray: Belaruskiya narodnyya prykmety i paver'i. Kniga 3* [Earthly journey to heaven: Belarusian country lore and beliefs. Vol. 3]. Minsk: Mastatskaya litaratura Publ., 1999. 654 p.
4. *Rekomendatsii po razvitiyu ekologicheskogo turizma v lesnom khozaystve Belarusi* [Recommendations on the development of ecological tourism in forest management in Belarus]. Available at: www.belgiproles.by/documents/doc_60.pdf (accessed 28.02.2015).

Информация об авторах

Зданович Нина Ивановна – старший преподаватель кафедры туризма и природопользования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ninazdan@tut.by

Шапорова Ядвига Александровна – кандидат биологических наук, доцент кафедры туризма и природопользования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: shaparava@yandex.by

Каплич Валерий Михайлович – доктор биологических наук, профессор кафедры туризма и природопользования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kaplichVM@mail.ru

Бахур Олег Владимирович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой туризма и природопользования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: olegbahur@belstu.by

Information about the authors

Zdanovich Nina Ivanovna – Senior Lecturer, the Department of Tourism and Nature Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ninazdan@tut.by

Shaporova Yadviga Aleksandrovna – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Tourism and Nature Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shaparava@yandex.by

Kaplich Valeriy Mikhaylovich – DSc (Biology), Professor, the Department of Tourism and Nature Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kaplichVM@mail.ru

Bachur Oleg Vladimirovich – PhD (Biology), Associate Professor, Head of the Department of Tourism and Nature Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: olegbahur@belstu.by

Поступила 29.03.2016

УДК 630*28:630*892.5

О. В. Морозов¹, В. В. Гримашевич²¹Белостокский технический университет²Белорусское общество лесоводов**ДОЛГОСРОЧНЫЙ ПРОГНОЗ ЗАГОТОВКИ ДИКОРАСТУЩИХ ЯГОД
В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ**

Научное обоснование на долгосрочную перспективу объемов заготовок, рационального использования и охраны ресурсов побочного лесопользования, главными из которых являются дикорастущие ягоды, может быть обеспечено на основе построения прогностических моделей, отражающих их высокую положительную связь с динамикой типологической структуры лесных насаждений, обусловленной, в первую очередь, глобальными климатическими изменениями. Прогнозируемые объемы заготовок основываются также на среднемноголетних величинах фактически полученной ягодной продукции всеми официально зарегистрированными субъектами хозяйствования, занимающимися данным видом деятельности. Прогноз приведен по областям и в целом по стране по наиболее распространенным дикорастущим ягодным видам: чернике обыкновенной, бруснике обыкновенной, голубике топяной, клюкве болотной.

Ключевые слова: долгосрочный прогноз, заготовка, дикорастущие ягоды.

O. V. Morozov¹, V. V. Grimashovich²¹Bialystok University of Technology²Belarusian Society of Foresters**LONG-TERM VISION OF WILD BERRIES PROCUREMENT
IN THE REPUBLIC OF BELARUS**

Scientific rationale of long-term prospects for procurement volumes, rational utilization and protection of non-wood forest products, primarily wild berries, can be made on the basis of forecasting models showing their highly positive impact on the typological structure dynamics of forest stands which is principally attributed to global climate changes. The forecasted procurements volumes are also based on long-term annual average actual volumes of wild berries procurement by all legally registered economic entities involved in these activity. The forecast had been made by regions and countrywide and involved most common wild berries, i. e. common blueberry, common bilberry, bog bilberry, bog cranberry.

Key words: long-term forecast, harvesting, wild berries.

Введение. Прогноз заготовок дикорастущих ягод (2020, 2025 и 2030 гг.) основывается на климатически детерминированном прогнозе ресурсов побочного лесопользования Беларуси на период до 2050 г., подготовленном в Институте леса НАН Беларуси, базирующемся на предполагаемом изменении типологической структуры лесов страны до 2050 г., обусловленном глобальными климатическими подвижками [1, 2].

Первоочередное внимание при подготовке прогноза было уделено статистическим данным Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды по заготовкам дикорастущих ягод.

В расчет брались экологически допустимые объемы заготовок, состояние естественных угодий, спрос на заготавливаемую продукцию на внутреннем и международном рынках.

Основная часть. Базовый среднемноголетний объем заготовок дикорастущих ягод – 15 628 т – определен исходя из фактических объемов заготовок за пять лет (2009–2013 гг.). На

протяжении четырех лет заготовка ягод варьировалась от 16 до 20 тыс. т и лишь в 2010 г. она снизилась до 6857 т (таблица). По областям величина заготовки в процентах от базового объема колеблется от 38 (Минская) до 6 (Могилевская).

В разрезе ботанических видов доминирующее положение занимает черника обыкновенная – 86,0%, далее следует клюква болотная – 9,5%. Величина базового объема заготовок по бруснике обыкновенной составляет 4,0%, а по голубике топяной всего лишь 0,5%.

По данным прогноза, к 2030 г. объем заготовок ягод в целом увеличится на 12% и произойдет это за счет черники обыкновенной, заготовки которой возрастут на 15%. Основанием для такого предположения является ожидаемое выравнивание возрастной структуры, выражающееся в увеличении доли приспевающих и спелых лесов [1].

Как известно, в насаждениях данных возрастных групп, особенно сосновой формации, урожайность черники наиболее велика. Еще одним фактором, способствующим увеличению

ее ресурсной значимости, является возрастание в общем объеме рубок главного пользования постепенных и выборочных рубок. При их проведении происходит не одномоментное, а постепенное (щадящее для теневыносливой черники) разреживание древесного полога в течение

нескольких (2–3) приемов, проводимых на протяжении до 10 и более лет. При этом биологическая продуктивность ягодника, несмотря на определенное повреждение заросли в процессе рубки, характеризуется выраженной стабильностью вплоть до последнего приема.

**Прогнозные показатели заготовок дикорастущих ягод
в разрезе областей и в процентах по стране на период до 2030 г.**

Область	Базовый вариант, т / %	Динамика заготовок ягод по годам, т / процент от базового варианта		
		2020 г.	2025 г.	2030 г.
Брусника обыкновенная				
Брестская	80 / 13	72–73 / 91	68–71 / 87	64–67 / 82
Витебская	81 / 13	79–81 / 100	80–83 / 100	80–83 / 100
Гомельская	38 / 6	34–36 / 92	32–34 / 88	32–33 / 85
Гродненская	88 / 14	83–86 / 96	81–84 / 94	80–84 / 93
Минская	300 / 48	288–300 / 98	285–297 / 97	282–294 / 96
Могилевская	38 / 6	36–37 / 96	35–36 / 94	34–36 / 92
По стране	<u>625 / 100</u> 4%	592–613 / 95–98	581–605 / 93–97	<u>573–597 / 95–97</u> 3,3%
Голубика топяная				
Брестская	2 / 2,6	1,9–2,0 / 97	1,7–1,8 / 87	1,6–1,7 / 82
Витебская	34 / 43,6	32–36 / 100	32–36 / 10	32–36 / 100
Гомельская	3 / 3,9	2,8–2,9 / 95	2,7–2,8 / 91	2,6–2,8 / 89
Гродненская	2 / 2,6	1,9–1,9 / 96	1,9–1,9 / 94	1,8–1,9 / 93
Минская	33 / 42,2	32–33 / 98	32–32,3 / 97	31–32 / 96
Могилевская	4 / 5,1	3,8–3,9 / 96	3,7–3,8 / 94	3,6–3,8 / 92
По стране	<u>78 / 100</u> 0,5%	75–80 / 96–100	74–79 / 96–100	<u>73–78 / 94–100</u> 0,4%
Клюква болотная				
Брестская	504 / 34	464–484 / 94	448–468 / 91	483–487 / 89
Витебская	193 / 13	206–210 / 108	208–212 / 109	208–212 / 109
Гомельская	342 / 23	315–321 / 93	301–315 / 90	294–308 / 88
Гродненская	134 / 9	127–130 / 96	122–127 / 93	121–126 / 92
Минская	208 / 14	204–208 / 99	200–208 / 98	198–206 / 97
Могилевская	104 / 7	100–102 / 97	97–101 / 95	95–99 / 93
По стране	<u>1 485 / 100</u> 9,5%	1 416–1 455 / 95–98	1 376–1 431 / 93–96	<u>1 354–1 438 / 91–97</u> 8%
Черника обыкновенная				
Брестская	2 383 / 18	2 526–2 574 / 107	2 597–2 645 / 110	2 669–2 812 / 115
Витебская	1255 / 9	1 318–1 343 / 106	1 406–1 418 / 112	1 468–1 544 / 120
Гомельская	1 492 / 11	1 447–1 477 / 98	1 432–1 462 / 97	1 402–1 492 / 97
Гродненская	2 120 / 16	2 247–2 290 / 107	2 290–2 332 / 109	2 311–2 438 / 112
Минская	5 398 / 40	5 938–6 046 / 111	6 208–6 316 / 116	6 370–6 694 / 121
Могилевская	792 / 6	824–840 / 105	863–879 / 110	887–935 / 115
По стране	<u>13 440 / 100</u> 86%	14 300–14 570 / 106–108	14 796–15 052 / 110–112	<u>15 107–15 915 / 112–118</u> 88,3%
Все виды дикорастущих ягод				
Брестская	2 969 / 19	3 064–3 133 / 104	3 115–3 186 / 106	3173–3368 / 110
Витебская	1 563 / 10	1 635–1 670 / 106	1 726–1 749 / 111	1788–1875 / 117
Гомельская	1 875 / 12	1 799–1 837 / 97	1 768–1 714 / 96	1731–1836 / 95
Гродненская	2 344 / 15	2 459–2 508 / 106	2 495–2 545 / 108	2514–2650 / 110
Минская	5 939 / 38	6 462–6 587 / 110	6 725–6 853 / 114	6881–7225 / 119
Могилевская	938 / 6	964–983 / 104	998–1020 / 108	1019–1074 / 111
По стране	<u>15 628 / 100</u> 100%	16 383–16 718 / 105–107	16 827–17 167 / 108–110	<u>17 106–18 028 / 109–115</u> 100%

Суммарная заготовка ягод к 2030 г. прогнозируется в количестве 17 106–18 028 т.

В то же время в связи с глобальным потеплением и аридизацией климата, прогнозируется некоторое снижение ресурсов и, соответственно, заготовок брусники (на 4%), голубики (на 3%) и клюквы (на 6%). Данная ситуация имеет выраженную географическую специфику, которая состоит в том, что снижение объемов заготовок указанных выше видов будет иметь место во всех областях, за исключением Витебской. Еще один ее географический аспект заключается в значительном падении уровня за-

готовок брусники, клюквы, голубики на юге страны (Брестская и Гомельская области, южная часть Могилевской).

Заключение. Объем заготовки ягод к 2030 г. увеличится на 12%, достигнуто это будет за счет черники обыкновенной, заготовки которой возрастут на 15%. В связи с глобальным потеплением и аридизацией климата прогнозируется некоторое снижение заготовок: брусники обыкновенной – на 4%, голубики топяной – на 3%, клюквы болотной – на 6%, которое произойдет во всех областях, за исключением Витебской.

Литература

1. Разработать климатический детерминированный прогноз типологической структуры сосняков и прогноз ресурсов побочного лесопользования в лесах Беларуси до 2050 года: отчет о НИР. Ин-т леса НАН Беларуси; рук. темы М. С. Лазарева. Гомель, 2007. 61 с. № ГР 20065447.

2. Гримашевич В. В. Климатически детерминированный прогноз ресурсов побочного лесопользования Беларуси на период до 2050 г. // Науковий вісник НЛТУ України. 2009. Вип. 19.14. С. 89–97.

References

1. *Razrabatat' klimaticheskiiy determinirovannyi prognoz tipologicheskoy struktury sosnyakov i prognoz resursov pobochnogo lesopol'zvaniya v lesakh Belarusi do 2050 goda: Otchet o NIR* [To develop climatic determined forecast for typological structure of pine forests and forecast for resources of miner forest exploitation in Belarus till 2050: research report]. Gomel, 2007, 61 p. № SR 20065447 (In Russian).

2. Grimashevich V. V. Climate-based forecast of non-wood forest resources of Belarus until 2050. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrainy* [Annals of Science, NFEU of Ukraine], 2009, issue 19.14, pp. 89–97 (In Russian).

Информация об авторах

Морозов Олег Всеволодович – профессор лесного факультета. Белостокский технический университет (17-200, Гайновка, ул. Пилсудского, 8, Республика Польша). E-mail: zwl.sekretariat@pp.edu.pl

Гримашевич Валерий Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент. Белорусское общество лесоводов (246006, г. Гомель, ул. Мазурова, 44/36, Республика Беларусь). E-mail: grimashevich@gmail.com

Information about the authors

Morozov Oleg Vsevolodovich – Professor of the Forestry Faculty. Bialystok University of Technology (8, Pilsudskiego, 17-200, Hajnowka, Poland). E-mail: zwl.sekretariat@pp.edu.pl

Grimashevich Valerij Vasil'evich – PhD (Agriculture), Associate Professor. Belarusian Society of Foresters (44/36, Mazurova str., 246006, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: grimashevich@gmail.com

Поступила 29.03.2016

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

УДК 625.089.42

М. Т. Насковец¹, Н. И. Жарков¹, С. С. Заец², Н. В. Хорошун³

¹Белорусский государственный технологический университет

²ГЛХУ «Дятловский лесхоз»

³Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь

ИССЛЕДОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА ВРЕМЯ ПОГРУЗКИ СОРТИМЕНТОВ НА ПРОМЕЖУТОЧНЫХ СКЛАДАХ

Вопросы повышения эффективности работы лесовозного транспорта, качественного проектирования и строительства лесовозных дорог, выбора оптимального типа автопоезда для конкретной автодороги, схемы вывозки (одноступенчатая, двухступенчатая), прогнозирования эффективности применения конкретных типов автопоездов, определения оптимальной рейсовой нагрузки, производительности и технико-экономических показателей работы автопоездов являются важнейшими задачами, требующими многовариантных расчетов.

В статье рассмотрена технология вывозки древесины с промежуточных складов, отражены преимущества и недостатки данной технологии, предложены рекомендации, полезные при устройстве промежуточных складов. Установлено, что минимальное время на погрузку сортиментовоза из штабеля древесины, расположенного на промежуточном складе, прямопропорционально зависит от длины сортимента в штабеле и высоты штабеля. Также установлено влияние различных факторов на время погрузки древесины на сортиментовоз.

Ключевые слова: сортимент, штабель, сортиментовоз, промежуточный склад, подъездной путь, эмпирическая зависимость.

M. T. Naskovets¹, N. I. Zharkov¹, S. S. Zaets², N. V. Khoroshun³

¹Belarusian State Technological University

²SFE "Dyatlovo Forestry"

³Ministry of Forestry of the Republic of Belarus

THE STUDY OF FACTORS AFFECTING ASSORTMENTS LOADING TIME AT THE INTERMEDIATE WAREHOUSES

The issues connecting improvement of the efficiency of wood-transport, high-quality design and construction of forest roads, the choice of the optimal road train type for a particular road, the scheme of removal (single-stage, two-stage), prediction of the effectiveness of the specific road train types use, the definition of an optimal voyage load, performance and technical and economic performance of road train work are the most important tasks that require multivariate calculations.

The article considers the technology of wood removal from the intermediate warehouses. The article reflects advantages and disadvantages of this technology, offers recommendations useful for intermediate warehouses. It was found that the minimum time for loading timber from the wood pile located on the intermediate warehouses will depend on the length of the range in stack and stack height. It is also determined the influence of different factors on the time of timber loading on the log truck.

Key words: assortment, pile, log truck, intermediate storage, driveway, empirical relationship.

Введение. На современном этапе развития лесозаготовительной отрасли народного хозяйства Республики Беларусь существенное значе-

ние имеет выбор технологии заготовки древесины. В последнее время наметился переход от механизированного метода заготовки древесины

(бензомоторными пилами) к механизированному (харвестерами) в комплексе с форвардерами и создание в лесхозах отрасли структурных подразделений, специализирующихся исключительно на заготовке древесины, – лесопунктов. Особую важность имеют вопросы выбора технологии трелевки, подвозки и вывозки древесины. В настоящее время наибольшую популярность приобрела технология сортиментной заготовки древесины, при которой вывозка древесины осуществляется с промежуточных складов. Она включает следующие этапы: заготовку древесины с ее сортировкой и окучиванием; подвозку (трелевку в полностью погруженном положении); выкладку штабелей лесоматериалов отдельно по видам и длинам сортиментов [3, 5, 7, 11, 12]. К преимуществам данной технологии относительно других вариантов можно отнести:

1) возможность организовать гибкий график вывозки древесины за счет подвозки сортиментов к транспортным путям с транспортно-эксплуатационными качествами, не зависящими от погодно-климатических факторов [6, 9];

2) возможность организовать гибкую и рациональную сортиментную структуру с учетом длин, диаметров сортности и требований заказчика для минимизации отходов лесозаготовительной деятельности [13, 14];

3) возможность обеспечить сохранность древесины от противоправных действий третьих лиц, а также провести химическую обработку для предотвращения порчи древесины и, как следствие, уменьшения ее стоимости [13, 14].

К недостаткам технологии относят:

1) наличие большого количества погрузочно-разгрузочных операций;

2) сложность обеспечения необходимых условий хранения древесины на длительный срок в условиях лесных территорий;

3) большое количество мелких остатков сортиментов по причине нерентабельности вывозки при малых объемах, что приводит к материальному ущербу;

4) необходимость наличия подъездных путей с достаточной несущей способностью, с модулем упругости не менее 50 МПа;

5) необходимость в отсутствии глубокой колеи на подъездных путях для возможности маевра прицепа сортиментовоза с целью погрузки древесины на прицеп в места с недостаточным вылетом стрелы манипулятора.

Принимая во внимание все за и против технологии вывозки древесины с промежуточных складов, необходимо отметить нерешенные задачи при осуществлении данной технологии:

1) не разработаны рекомендации по устройству промежуточных складов, определению

наилучших территорий в лесу для укладки штабелей древесины;

2) не разработано метаматематическое обоснование оптимальных размеров штабелей древесины, укладываемой на промежуточных складах;

3) не разработаны предложения по минимизации времени на погрузку древесины с промежуточных складов с учетом различных факторов.

Основная часть. Для решения вышеперечисленных задач были проведены исследования.

Основным документом, в котором регламентируются правила устройства промежуточных складов, являются Межотраслевые правила по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности и в лесном хозяйстве [1]. Данным документом предусмотрено следующее:

– укладка и разборка плотных штабелей разрешается кранами с грейферами, погрузчиками с челюстными и манипуляторными захватами, бревнозахватами, цепными амортизаторами и другими приспособлениями, обеспечивающими безопасность при работе;

– для каждого штабеля должно быть оборудовано подштабельное основание из бревен-подкладок. Высота подштабельного основания должна быть не менее 15 см при влажном способе хранения и не менее 25 см при сухом способе хранения. На слабых грунтах под бревна-подкладки должен быть сделан сплошной настил из низкосортных бревен;

– высота штабеля круглых лесоматериалов должна быть не более 1/4 длины его и не должна превышать полуторную длину бревен, укладываемых в штабель. Высота штабеля бревен при штабелевке вручную должна быть не более 1,8 м.

При укладке штабелей круглых лесоматериалов необходимо соблюдать следующие требования:

1) интервалы между отдельными группами штабелей должны соответствовать противопожарным нормам проектирования складов лесоматериалов;

2) отдельные бревна не должны выступать за пределы основного штабеля более чем на 0,5 м;

3) прокладочные бревна следует укладывать симметрично продольной оси штабеля на расстоянии от торцов бревен не более 1 м с каждой стороны;

4) прокладки вдоль штабеля необходимо укладывать в одну линию, а их концы на стыках должны перекрываться внахлест на длину не менее 1 м;

5) в один и тот же штабель следует укладывать круглые лесоматериалы, отличающиеся по

длине: для хвойных пород – не более 1 м, для лиственных пород – 0,5 м;

б) концы рядового штабеля должны иметь уклон, для чего каждый новый ряд делается короче предыдущего на диаметр бревна с каждой стороны;

7) на границах плотных, плотнорядовых и шаговых штабелей должны быть устройства, исключая произвольное раскатывание бревен. При отсутствии таких устройств концы штабелей должны иметь угол, равный углу естественного раскатывания бревен (не более 35°) [1].

В то же время не уточнены вопросы оптимальных размеров штабелей для минимизации времени на погрузку древесины, требования к несущей способности грунтов и т. д.

Из опыта устройства промежуточных складов можно рекомендовать следующее:

1) устраивать промежуточные склады целесообразнее на территориях лесных пустырей, межквартальных просек, причем рекомендуется для штабелей дровяной древесины для получения щепы выбирать места, примыкающие к дорогам по ширине большими комплекту машин: самоходной рубильной машины и щеповоза;

2) избегать мест с прямым примыканием штабелей к древесно-кустарниковой растительности и под кронами деревьев во избежание отсутствия проветривания штабелей, что может привести к порче древесины;

3) избегать попадания почвы и ветвей деревьев в штабеля древесины;

4) выбирать места складирования древесины с достаточной несущей способностью подстилающих грунтов с примыканием к подъездным путям с наименьшей глубиной колеи с целью возможности маневра прицепа сортиментовоза для погрузки пространства прицепа с длиной по базе длиннее вылета стрелы манипулятора.

Для определения влияния геометрических характеристик штабеля на время погрузки пачки древесины грейферным захватом гидроманипулятора было проведено исследование с составлением эмпирической зависимости с использованием теории планирования эксперимента. Исследование проводилось на базе сортиментовоза МА36303А8+МА3837810-022 с гидроманипулятором ОМТЛ-70-04, стаж работы оператора 8 лет [15].

Суть исследования заключалась в следующем: на промежуточном складе для разных сортиментов с различными длинами и градациями диаметров в верхнем отрезе замерялось время погрузки древесины одинакового объема грейферным захватом манипулятора ОМТЛ-70-04

на базе МА36303А8+МА3837810-022. Технические данные манипулятора приведены в таблице [2].

Технические данные манипулятора

Показатель	Значение
Грузовой момент, кНм	70
Грузоподъемность при наибольшем вылете стрелы, т	0,71
Грузоподъемность при вылете стрелы 3 метра, т	2,00
Наибольший вылет, м	8,6
Угол поворота колонны, град.	400
Масса рабочего органа, кг	255
Площадь поперечного сечения рабочего органа при сомкнутых концах челюстей, м ²	0,35

Число повторений опытов равнялось 10. Схема штабеля с измеряемыми геометрическими параметрами приведена на рис. 1.

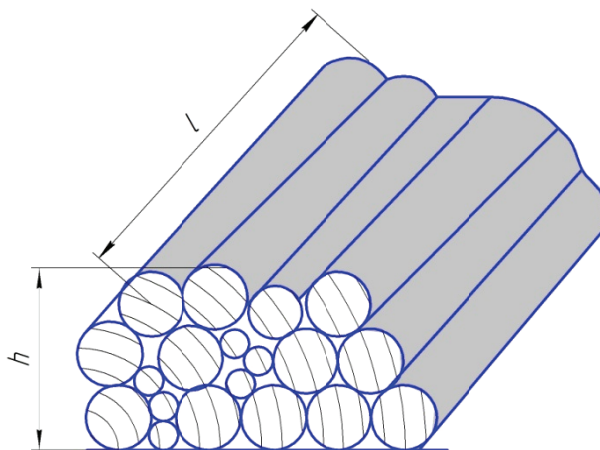


Рис. 1. Схема штабеля

На время загрузки древесины из штабеля в сортиментовоз МА36303А8+МА3837810-022 влияют следующие основные факторы:

- 1) длина сортиментов в штабеле;
- 2) высота и длина штабеля;
- 3) расстояние от центра оси сортиментовоза до центра тяжести сортиментов в штабеле;
- 4) длина вылета стрелы штабеля;
- 5) технические параметры манипулятора;
- 6) квалификация оператора манипулятора;
- 7) качество отторцовки сортиментов в штабеле и т. д.

В центре исследования рассматривались факторы длины сортиментов и высота штабеля.

На основе полученных результатов, используя теорию планирования эксперимента, была составлена эмпирическая зависимость (1), которая впоследствии была проверена на адекватность по критерию Кохрена [4, 10]:

$$t = f(l, h) = a + bh + cl + yh^2 + pl^2 + 2lh = 26,89 - 1,33h + 3,51 - 1,66h^2 + 0,34l^2 + 0,75lh, \quad (1)$$

где t – время на погрузку древесины, с; l – длина сортимента в штабеле, м; h – высота штабеля, м.

На рис. 2, 3 изображены фотографии исследуемого штабеля древесины.



Рис. 2. Исследуемый штабель 1



Рис. 3. Исследуемый штабель 2

Анализируя эмпирическую зависимость, можно сделать вывод, что наименьшее время загрузки древесины из штабеля будет наблюдаться при прочих равных условиях для высоты штабеля, равной высоте стоек сортиментовоза.

На рис. 4 изображен график поверхности эмпирической зависимости, на рис. 5 – график зависимостей высоты штабеля и длины сортиментов на время загрузки.

Также в ходе исследований было определено влияние составляющих (в процентах) (таких как время, затрачиваемое на отторцовку сортиментов; квалификация оператора; время, затра-

чиваемое на укладку сортиментов вразнокемлицу и т. д.) на время погрузки в сортиментовоз древесины объемом 15 м^3 с различной длиной сортиментов и диаметрами в верхнем отрезке (рис. 6 и 7).

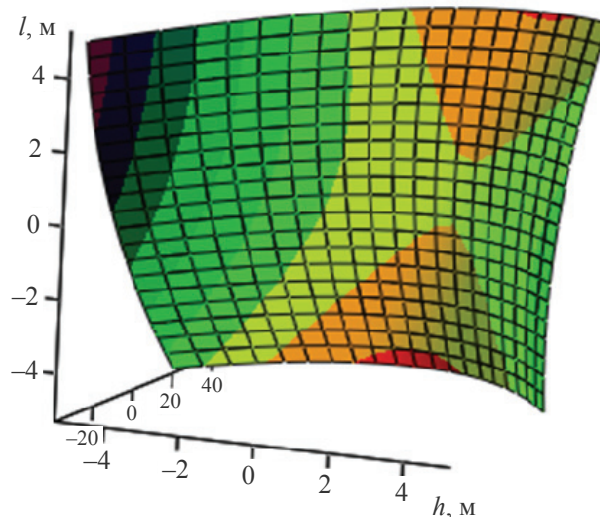


Рис. 4. График поверхности эмпирической зависимости

t (время на загрузку)

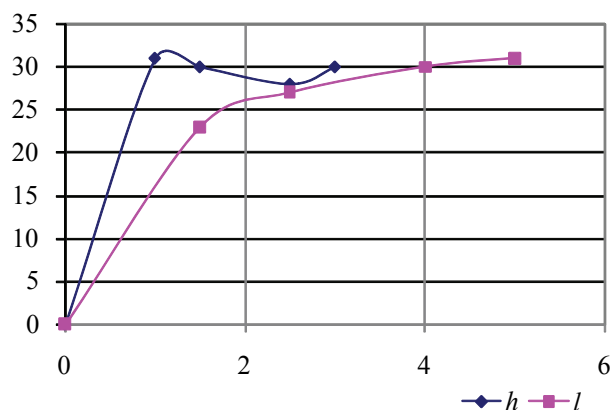


Рис. 5. График зависимостей $t(h)$ и $t(l)$

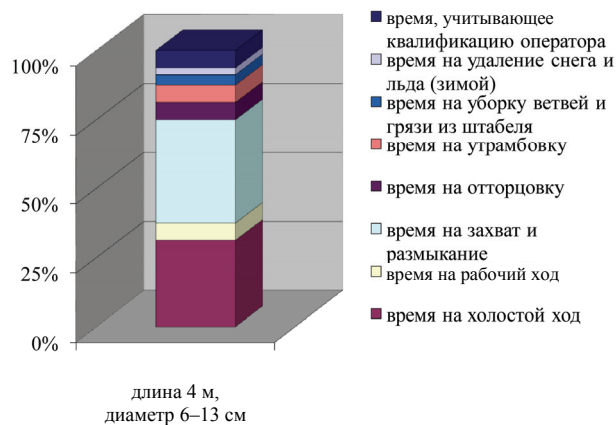


Рис. 6. Диаграмма влияния времени при длине 4 м и диаметре древесины 6–13 см

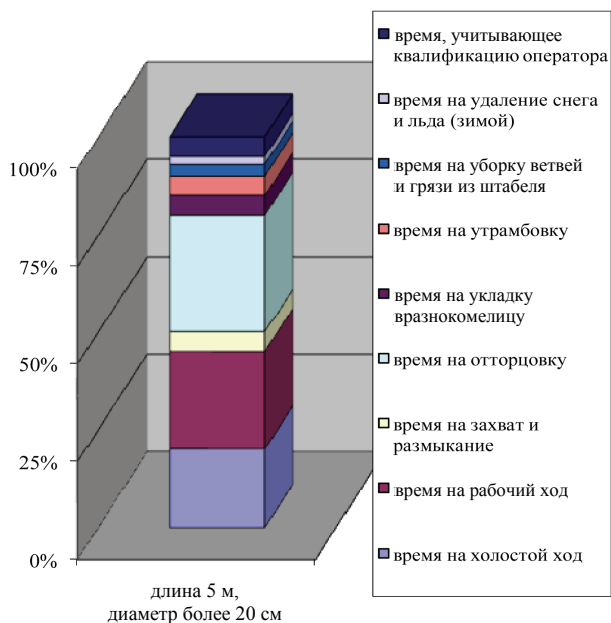


Рис. 7. Диаграмма влияния времени при длине 4 м и диаметре древесины более 20 см

Заключение. Таким образом, установлено, что оптимальными размерами штабеля древесины, устраиваемого на промежуточных складах для минимизации времени погрузки в сортиментовоз МАЗ 6303А8+МАЗ 837810-022 с гидроманипулятором ОМТЛ-70-04, будет при прочих равных условиях, высота штабеля, равная высоте наивысшей точки стоек сортиментовоза. На время загрузки сортиментовоза древесиной объемом 15 м³ влияют такие факторы, как время на холостой ход; время на рабочий ход; время на захват и размыкание захвата манипулятора; время на отторцовку сортиментов; время на укладку вразнокомелицу сортиментов; время на утрамбовку сортиментов; время на уборку ветвей и почвы из штабеля; время на удаление снега и льда (зимой); квалификация оператора.

Результаты исследования могут быть использованы при выборе мест устройства промежуточных складов и нормировании времени работы операторов сортиментовозов.

Литература

1. Об утверждении Межотраслевых правил по охране труда в лесной, деревообрабатывающей промышленности в лесном хозяйстве Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь: постановление Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь от 30 декабря 2008 г. № 211/39 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь [Электронный ресурс]. URL: [http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147\(016-099\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147(016-099).pdf) (дата обращения: 24.09.2016).
2. Гидроманипулятор для леса // ООО «КВ-партнёр» – белорусский производитель спецтехники [Электронный ресурс]. URL: http://kv-partner.com/gidromanipulyatory_dlya_/ (дата обращения: 05.10.2016).
3. ТКП 500-2013 (02080). Лесные автомобильные дороги: нормы проектирования и правила устройства. Введ. 01.03.2014. Минск: Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, 2013. 87 с.
4. Гринин А. С., Орехов Н. А., Новиков В. Н. Математическое моделирование в экологии. М.: Юнити-Дана, 2003. 269 с.
5. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса. Минск: Вышэйшая школа, 1987. 297 с.
6. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2009. 170 с.
7. Насковец М. Т., Корин Г. С., Драчиловский А. И. Применение геотекстильного материала «Спанбел» при строительстве опытных объектов лесных дорог второстепенного значения и результаты их испытаний // Труды БГТУ. 2013. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 31–33.
8. Исследование эксплуатационного состояния лесных дорог и разработка рекомендаций по их содержанию / М. Т. Насковец [и др.] // Труды БГТУ. 2016. № 2 (184): Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 65–69.
9. Леонович И. И., Оковитый А. Л. Эксплуатация лесных дорог. Минск: Вышэйшая школа, 1972. 448 с.
10. Лемешко Б. Ю., Лемешко С. Б., Горбунова А. А. О применении и мощности критериев проверки однородности дисперсий. Ч. I. Параметрические критерии // Измерительная техника. 2010. № 3. С. 10–16.
11. Corder G. W., Foreman D. I. Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach. New York: Wiley, 2009. 286 p.
12. Bagdonavicius V., Nikulin M. S. Chi-square goodness of fit test for right censored data // The International Journal of Applied Mathematics and Statistics. 2011. No. 3. P. 30–50.
13. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства: учебник. Минск: Техноперспектива, 2006. 447 с.
14. Матвейко А. П., Клоков Д. В., Протас П. А. Технология и оборудование лесозаготовительного производства: практикум. Минск: БГТУ, 2005. 160 с.

15. Отраслевые республиканские нормы выработки и расценки на работы в лесном хозяйстве. В 4 сб. Сб. 2: Лесозаготовительные работы: утв. Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь 15 дек. 2005 г. Минск: Белгипролес, 2005. 129 с.

References

1. *Ob utverzhdenii mezhotraslevykh pravil po okhrane truda v lesnoy, derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti v lesnom khozyaystve Ministerstva lesnogo khozyaystva: Postanovleniye Ministerstva truda i sotsial'noy zashchity Respubliki Belarus' i Ministerstva lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' ot 30 dekabrya 2008 g. No. 211/39* [About the statement of interbranch rules on labor protection in the forestry and woodworking industry and forestry the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. The resolution of the Ministry of Labour and Social Protection of the Republic of Belarus and the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus dated 30 December 2008 No. 211/39]. Available at: [http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147\(016-099\).pdf](http://www.pravo.by/pdf/2009-147/2009-147(016-099).pdf) (accessed: 24.09.2016).
2. *Gidromanipulyator dlya lesa* [Hydraulic manipulator for timber]. Available at: kv-partner.com/gidro-manipulyator_omtl-13 (accessed: 05.10.2016).
3. ТКР 500-2013 (02080). Forest roads: design standards and rules of the device. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 2013. 87 p. (In Russian).
4. Grinin A. S., Orekhov N. A., Novikov V. N. *Matematicheskoye modelirovaniye v ekologii* [Mathematical modeling in ecology]. Moscow, Unity-Dana Publ., 2003. 269 p.
5. Vyrko N. P. *Sukhoputnyy transport lesa* [Land transport timber]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1987. 297 p.
6. Naskovets M. T. *Transportnoye osvoyeniye lesov Belarusi i komponenty lesotransporta* [Vehicle development of Belarus forests and components lesotransporta]. Minsk, BGTU Publ., 2009. 170 p.
7. Naskovets M. T., Korin G. S., Drachilovsky A. I. Application of geotextile “SpunBel” experienced during the construction of objects of forest roads of secondary importance and the results of their tests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013 no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 31–33 (In Russian).
8. Naskovets M. T., Zharkov N. I., Drachilovsky A. I., Korin G. S., Khoroshun N. V. Research operational state forest roads and develop recommendations on their repair and maintenance. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2 (184): Forest and Woodworking Industry, pp. 65–69 (In Russian).
9. Leonovich I. I., Okovity A. L. *Ekspluatatsiya lesnykh dorog* [Exploitation of forest roads]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1972. 448 p.
10. Lemeshko B. U., Lemeshko S. B., Gorbunova A. A. On the application of power and homogeneity of variances test criteria. Part I. The parametric criteria. *Izmeritel'naya tekhnika* [Measuring equipment], 2010, no. 3, pp. 10–16 (In Russian).
11. Corder G. W., Foreman D. I. *Nonparametric Statistics for Non-Statisticians: A Step-by-Step Approach*. New York, Wiley, 2009. 286 p.
12. Bagdonavicius V., Nikulin M. S. Chi-square goodness of fit test for right censored data. *The International Journal of Applied Mathematics and Statistics*, 2011, no. 3, pp. 30–50.
13. Matveiko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva: uchebnik* [Technology and timber production equipment: Textbook]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 447 p.
14. Matveiko A. P., Klokov D. V., Protas P. A. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva: praktikum* [Technology and timber production equipment: Workshop]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 160 p.
15. *Otraslevyye respublikanskiye normy vyrabotki i rastsenki na raboty v lesnom khozyaystve. Sb. 2: Lesozagotovitel'nye raboty*. [Branch Republican production quotas and prices for work in forestry. Coll. 2: Harvesting]. Minsk, Belgiproles Publ., 2005. 129 p.

Информация об авторах

Насковец Михаил Трофимович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

Жарков Николай Иванович – кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Заец Сергей Сергеевич – магистр технических наук, мастер на лесосеке. ГЛХУ «Дятловский лесхоз» (231471, г. Дятлово, ул. Новогрудская, 3, Республика Беларусь). E-mail: zayetsss@mail.ru

Хорошун Николай Владимирович – консультант управления производства и реализации продукции. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь (220048, г. Минск, ул. Мясникова, 39, Республика Беларусь). E-mail: kharashun@ministry.mlh.by

Information about the authors

Naskovets Mikhail Trofimovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

Zharkov Nikolay Ivanovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Senior Researcher of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Zaets Sergey Sergeevich – Master of Engineering, Master of the felling area. SFE “Dyatlovo Forestry” (3, Novogrudskaya Str., 231471, Dyatlovo, Republic of Belarus.). E-mail: zayetsss@mail.ru

Khoroshun Nikolai Vladzimirovich – Counselor of the Production and Sales Department. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus (39, Myasnikova str., 220048, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kharashun@ministry.mlh.by

Поступила 31.10.2016

УДК 630*383.4

П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Науменко
Белорусский государственный технологический университет

**ИСПЫТАНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД,
УСТРОЕННЫХ НА ОСНОВЕ АРМАТУРНОГО КАРКАСА
«ГЕОРЕШЕТКА-ЦЕМЕНТОГРУНТ»**

В настоящее время при строительстве лесных автомобильных дорог и дорог общего пользования в Республике Беларусь применяются конструкции дорожных одежд из укрепленных материалов, что позволяет повысить сроки их службы и обеспечить высокие транспортно-эксплуатационные показатели. Общеизвестным является тот факт, что ритмично и эффективно работают те предприятия лесного комплекса, которые имеют хорошую развитую сеть дорог, позволяющую проводить транспортные операции в течение всего года.

Перспективы увеличения лесосырьевых запасов и объемов заготовок древесины выдвигают необходимость существенно увеличить объемы строительства лесотранспортных путей, которые позволят предприятиям лесного комплекса обеспечить устойчивую работу. Нарращивание объемов дорожного строительства в лесу требует новых подходов к технологиям строительства дороги, а также к применяемым дорожным материалам.

В связи с этим в статье приводятся результаты испытаний разработанных конструкций дорожных одежд, которые устраиваются на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт».

Ключевые слова: конструкция, дорожные одежды, георешетка, цементогрунт, прочность, надежность.

P. A. Lyshchik, J. I. Bavbel, A. I. Naumenko
Belarusian State Technological University

**TESTING OF ROAD STRUCTURES, BUILT ON THE BASIS
OF THE REINFORCEMENT FRAME “GEOGRID-CEMENTSOIL”**

Currently in the construction of forest roads and public roads in the Republic of Belarus pavement constructions from reinforced materials are used, allowing to increase the service and provide high transport and operational performance indicators. It is a recognized fact that only those forest complex enterprises that have a good developed network of roads, allowing to carry out transport operations throughout the year work smoothly and effectively.

The prospects for increasing forest stocks and rate of timber harvesting have made it necessary to significantly increase the volume of timber transport routes construction, which will allow enterprises of the forest complex to ensure stable operation. To increase the volume of road construction in the forest requires new approaches to technologies of road construction, and used road materials.

In this regard, the article presents the results of the developed road structures testing, which are arranged on the basis of the reinforcement frame “geogrid-cementsoil”.

Key words: construction, pavement, geogrid, cementsoil, durability, solidity.

Введение. На всех этапах проектирования и строительства лесных автомобильных дорог к дорожным одеждам предъявляются соответствующие требования, которые определяются нормативными документами [1, 2, 3, 4].

Дорожная одежда – это сложная система, которая воспринимает и распределяет транспортные нагрузки до уровня допустимых из условий прочности грунтов земляного полотна. Она должна быть ровной, прочной, шероховатой и работать в упругой ситуации.

Тяжелые лесотранспортные средства вызывают напряжения в дорожных одеждах в пределах 0,5–1,4 МПа, что существенно выше пределов прочности грунтов, из которых устраива-

ется земляное полотно [1, 5]. В результате эксплуатации лесных автомобильных дорог на них появляются пластичные деформации, что влечет образование ряда дефектов, таких как волны, гребенки, колеи, что в последствии ведет к разрушению дорог.

Основная часть. Увеличить срок службы лесных автомобильных дорог возможно путем уменьшения давления от транспортной нагрузки или создания усиленных конструкций дорожных одежд с учетом погодноклиматических условий района строительства [6, 7, 8].

Разнообразные природные условия при проектировании дорог учитывают с помощью дифференцированных по зонам расчетных

показателей грунтов земляного полотна. Согласно существующей схеме районирования [1, 2], территория Республики Беларусь отнесена ко II дорожно-климатической зоне. На территории республики отчетливо отмечаются признаки климатической зональности, которая обусловила различные прочностные и деформационные показатели грунтов и дорожных материалов.

К настоящему времени накоплен определенный опыт по применению местных грунтов в качестве дорожных строительных материалов. Использование местных грунтов для устройства дорожных одежд возможно только после придания им необходимых прочностных свойств. Это достигается путем укрепления их вяжущими материалами [6, 8, 9, 10, 11].

При смешивании грунта с вяжущими в смесях происходят разнообразные реакции взаимодействия с поверхностно-активными веществами, которые часто являются отходами промышленных производств. Они используются в целях торможения или интенсификации процессов взаимодействия и твердения укрепленных грунтов. Важно знать, что укрепление грунтов представляет собой весьма сложный процесс, идущий во времени и включающий в себя разнообразное взаимодействие длительно и временно действующих факторов [13, 14].

Для оценки эффективности практического использования дорожных конструкций из грунтов, укрепленных композиционными вяжущими, на лесных автомобильных дорогах был проведен ряд испытаний по определению прочностных и деформационных свойств цементогрунтов и дорожных конструкций на их основе.

В конструкции дорожной одежды использовался цементогрунт на основе суглинистого грунта, укрепленного 8%-ным композиционным вяжущим на основе портландцемента и микронаполнителей [15]. Для создания арматурного каркаса применена георешетка ячеистой конструкции марки «Белгеосот» высотой 0,1 м.

Для определения модуля упругости и силы, возникающих напряжений в теле дорожной конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» на грунтовом канале было заложено три модельных участка длиной 1,5 м, шириной 1,0 м, при этом третий участок был контрольным и представлял собой профилированное и уплотненное грунтовое покрытие.

Первый участок представлял собой конструкцию дорожной одежды из послойно уложенного и уплотненного грунта, доведенного до максимальной плотности при оптимальной

влажности (рис. 1, а). Верхний слой данного участка толщиной 0,15 м был устроен путем укрепления грунта композиционным малоцементным вяжущим [10], состоящим из портландцемента и смеси гранитоидного отсева и молотого отхода асбестоцементного производства.

Принцип закладки второго участка такой же, как и первого, причем основание дорожной конструкции состояло из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» (рис. 1, б), полученного путем засыпки георешетки ячеистой конструкции марки «Белгеосот» цементогрунтовой смесью [7, 8]. Смесью состоит из грунта, укрепленного композиционным малоцементным вяжущим, состоящим из портландцемента и смеси гранитоидного отсева и молотого отхода асбестоцементного производства.

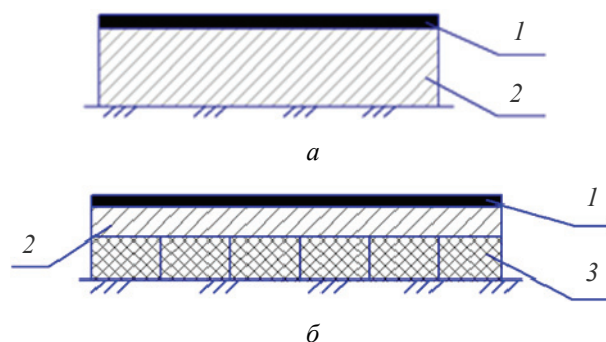


Рис. 1. Модели дорожных конструкций:
а – из цементогрунта; б – из арматурного каркаса:
1 – слой износа; 2 – покрытие из цементогрунта;
3 – арматурный каркас «георешетка-цементогрунт»

Третий участок без укрепления представлял собой грунт уплотнений послойно при оптимальной влажности с коэффициентом уплотнения 0,98.

Исследования включали два этапа и были проведены по методикам, изложенным в работах [10, 12], с использованием современного оборудования и приборов.

В процессе выполнения испытаний конструкций дорожных одежд выполнялось:

- 1) определение давления подвижного колеса на покрытие;
- 2) измерение максимальных вертикальных сжимающих напряжений в различных зонах тела конструкции при проходе экспериментальной тележки;
- 3) измерение глубины образующейся колеи.

Напряжения, возникающие в теле конструкции по глубине, измерялись мессдозами Баранова, предварительно протарированными перед началом проведения испытаний. Закладка мессдоз проводилась по центру спаренных колес и по центру одного колеса на различных глубинах.

На рис. 2 представлены модельные участки заложенных конструкций дорожных одежд в грунтовом канале.



Рис. 2. Модельные участки дорожных конструкций в грунтовом канале:
1 – дорожная конструкция из цементогрунта;
2 – дорожная конструкция из арматурного каркаса

Величины напряжений, возникающие по глубине, регистрировалась с частотой 5 изм./с и записывались при помощи измерительной аппаратуры в составе восьмиканального многофункционального измерительного усилителя Spider-8 и после каждого прохода сохранялись в базе данных персонального компьютера для дальнейшей обработки.

Для регистрации и обработки получаемых данных применялся пакет программного обеспечения «Catman express-3.12», прошедшего предварительную настройку для данного типа измерений.

Нагрузка, передаваемая от спаренных колес экспериментальной тележки на поверхность модельных участков, составляла 33,7 кН, давление воздуха в шинах – 0,4 МПа, число проходов по одному следу – 40.

Схема закладки мессдоз Баранова в теле конструкции дорожной одежды по глубине представлена на рис. 3.

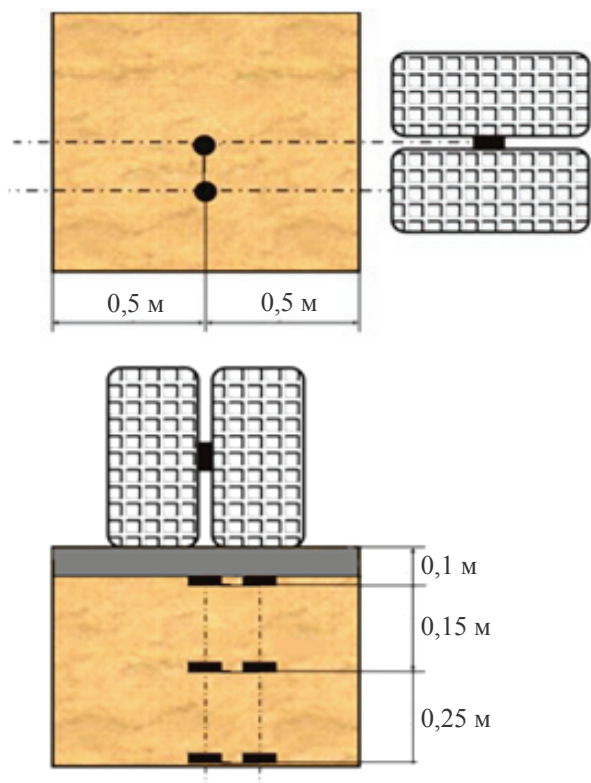


Рис. 3. Схема закладки мессдоз

В ходе проведения испытаний были получены данные по напряжениям, возникающим в теле конструкции (рис. 4).

Испытания показали, что на участке с конструкцией дорожной одежды из цементогрунта модуль упругости (108 МПа) выше модуля упругости грунтового покрытия (65 МПа) в 1,6 раза, а на участке с дорожной конструкцией из арматурного каркаса модуль упругости (214 МПа) выше модуля упругости грунтового покрытия в 3,3 раза.

Как видно из полученных зависимостей (рис. 4), наибольшие напряжения возникают на контрольном участке, где укрепление грунта не проводилось. Это свидетельствует о недостаточной несущей способности местного грунта, доведенного до максимальной плотности, и, как следствие, недостаточной прочности всей дорожной конструкции в целом.

В ходе испытаний после определенного числа проходов тележки измерялась глубина колеи, фиксировался характер образования остаточной деформации. На участках с разработанными конструкциями дорожных одежд глубина колеи составила доли миллиметров, т. е. при 40 проходах тележки образования колеи практически не происходило.

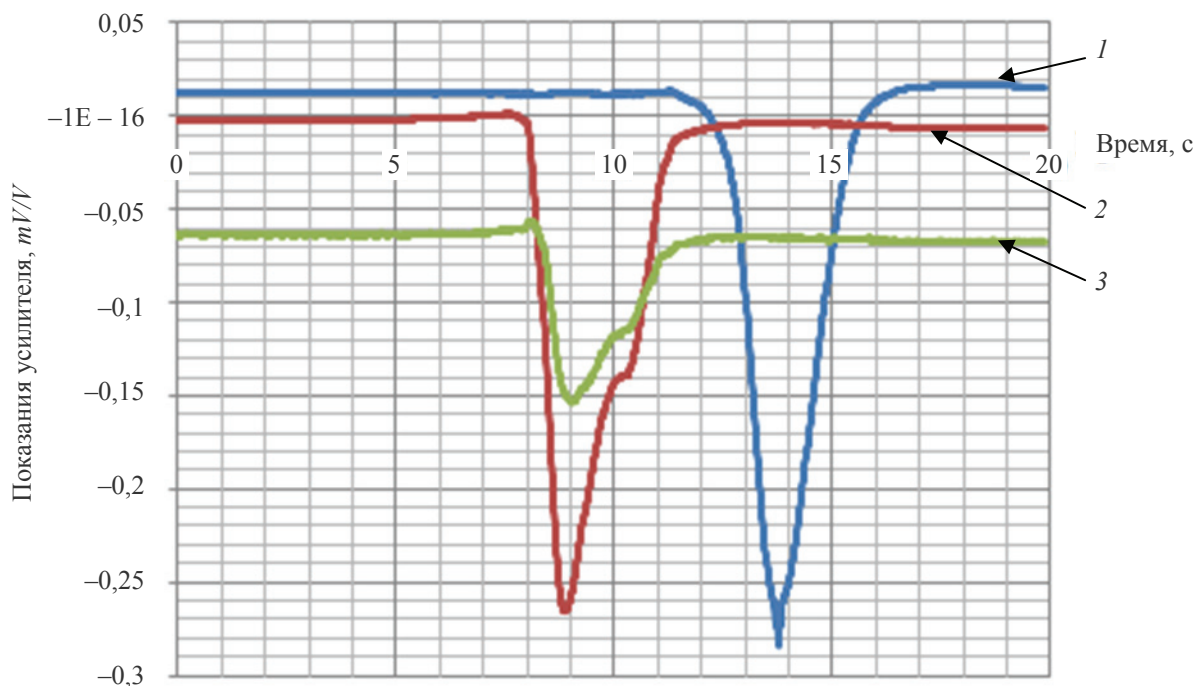


Рис. 4. Напряжения, возникающие в теле конструкции при проходе экспериментальной тележки:
 1 – контрольный участок; 2 – участок конструкции из цементогрунта;
 3 – участок конструкции из арматурного каркаса

На участке с грунтовым покрытием наиболее интенсивно колея образовывалась при первых 17 проходах, стабилизировалась после 23 проходов, в конечном итоге ее глубина составила 3,7 см.

Заключение. Таким образом, результаты лабораторных испытаний разработанных конструкций дорожных одежд на основе цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» показали хорошую работу под колесной нагрузкой.

На основании полученных прочностных показателей можно сделать вывод, что разработанные дорожные конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» обладают повышенной долговечностью и надежностью за счет обеспечения максимального использования прочности арматурного каркаса и могут быть применены на лесных автомобильных дорогах для различных природно-производственных условий эксплуатации.

Литература

1. Oburger E., Jager A., Pasch A., Dellantonio A., Stampfer K., Wenzel W.W. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study // *Science of the Total Environment*. 2016. Vol. 544. P. 711–721.
2. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads // *Croatian Journal of Forest Engineering*. 2014. Vol. 35 (1). P. 81–89.
3. Дорожные одежды с основаниями из укрепленных материалов / Ю. М. Васильев [и др.]. М.: Транспорт, 1989. 191 с.
4. Насковец М. Т., Севрук С. А. Применение современного измерительного оборудования при проведении лабораторных исследований работы дорожных конструкций // *Автомобильные дороги и мосты*. 2007. № 1. С. 72–75.
5. Лыщик П. А., Науменко А. И. Новые композиционные материалы для укрепления дорожных грунтов // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика* / ФГБОУ ВПО ВГЛТА, Воронеж, РФ. 2014. Т. 2, № 3–3 (8–3). С. 200–202.
6. Дорожная конструкция из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»: патент Респ. Беларусь на полезную модель, МПК Е 01 С 7/00 / П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, С. В. Красковский, А. И. Науменко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № u 20150100; заявл. 19.03.2015; опубл. 30.10.2016. // *Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці*. 2016. № 5. С. 143–144.
7. Композиционный цемент: патент Респ. Беларусь, МПК С 04 В 7/04, С 04 В 28/5204, С 04 В 18/12, С 04 В 718/16, С 04 В 7/52 / П. А. Лыщик, С. В. Плышевский, А. И. Науменко; заявитель

Белорус. гос. технол. ун-т. № а 20121705; заявл. 06.12.12; опубл. 30.05.2015 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2015. № 4. С. 82.

8. Лышик П. А., Науменко А. И., Синяк С. А. Конструкции лесных автомобильных дорог на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 79–82.

9. Лышик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Состав минерального вяжущего для укрепления дорожных грунтов // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 33–36.

10. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization // *Biomass bioengineering*. 2013. Vol. 58. P. 294–302.

11. Бавбель Е. И., Игнатенко В. В., Науменко А. И. Конструирование и методика расчета дорожных одежд из укрепленных грунтов // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 58–60.

12. Лышик П. А., Науменко А. И. Механизмы структурообразования дорожных грунтов, укрепленных минеральными вяжущими // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 42–44.

13. Лышик П. А., Бавбель Е. И. Проблема развития транспортной инфраструктуры лесопользователей // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 62–64.

14. Обоснование структуры и состава дорожной цементогрунтовой смеси на основе математической модели / Лышик П. А. [и др.] // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревооб. пром-сть. С. 39–43.

15. ТКП 500-2013 (33090). Лесные автомобильные дороги. Нормы и правила устройства. Минск: М-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь, 2013. 91 с.

References

1. Oburger E., Jager A., Pasch A., Dellantonio A., Stampfer K., Wenzel W.W. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study. *Science of The Total Environment*, 2016, vol. 544, pp. 711–721.

2. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2014, vol. 35 (1), pp. 81–89.

3. Vasil'ev Ju. M., Sall' A. O., Agafontseva V. P., Isaev V. S. *Dorozhnye odezhdy s osnovanijami iz ukreplennykh materialov* [Road clothes with the bases from the strengthened materials]. Moscow, Transport Publ., 1989. 191 p.

4. Naskovets M. T., Sevruk S. A. Application of the modern measuring equipment at carrying out of laboratory researches of work of road designs. *Avtomobil'nye dorogi i mosty* [Roads and bridges], 2007, no. 1, pp. 72–75 (In Russian).

5. Lyshchik P. A., Naumenko A. I. New composite materials for strengthening for road soils. *Aktual'nye napravlenija nauchnykh issledovanij XXI veka: teorija i praktika* [Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice], Voronezh, RF, 2014, vol. 2, no. 3–3 (8–3), pp. 200–202 (In Russian).

6. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Kraskovskiy S. V., Naumenko A. I. *Dorozhnaya konstruktsiya iz armaturnogo karkasa «georeshetka-tsementogrunnt»* [Road design from reinforcing cage «geogrid-tsementogrunnt»]. МРК Е 01 С 7/00, no. u 20150100, 2016.

7. Lyshchik P. A., Plyshevskiy S. V., Naumenko A. I. *Kompozitsionnyy tsement* [Composite cement]. Patent Resp. Belarus' МРК С 04 В 7/04, С 04 В 28/5204, С 04 В 18/12, С 04 В 718/16, С 04 В 7/52/, no. a 20121705, 2015.

8. Lyshchik P. A., Naumenko A. I., Synyak S. A. Construction forest highways based on the reinforcement cage “Geogrid-cementsoil”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 79–82 (In Russian).

9. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I. The composition of mineral binder for strengthening road soils. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 33–36 (In Russian).

10. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization. *Biomass bioengineering*, 2013, vol. 58, pp. 294–302.

11. Bavbel J. I., Ignatenko V. V., Naumenko A. I. The design and method of calculation of pavement of reinforced soil. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 58–60 (In Russian).

12. Lyshchik P. A., Naumenko A. I. Mechanisms of structure formation of road soil, fortified astringent mineral. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 42–44 (In Russian).

13. Lyshchik P. A., Bavbel J. I. The problem of development of transport infrastructure of forest users. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 62–64 (In Russian).

14. Lyshchik P. A., Ignatenko V. V., Bavbel J. I., Naumenko A. I. Rationale the structure and composition of road cementogenesis mixtures based on mathematical models. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 39–43 (In Russian).

15. ТКР 500-2016 (33090). Wood highways. Norms and device rules. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 2016. 91 p. (In Russian).

Информация об авторах

Лыщик Петр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tl@belstu.by

Бавбель Евгения Ивановна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

Науменко Андрей Иванович – кандидат технических наук, ассистент кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naumenko@belstu.by

Information about the authors

Lyshchik Petr Alekseevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tl@belstu.by

Bavbel Jane Ivanovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

Naumenko Andrey Ivanovich – PhD (Engineering), Assistant of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naumenko@belstu.by

Поступила 26.10.2016

УДК 630*363.7

А. О. Германович, В. Н. Лой, С. П. Мохов, М. К. Асмоловский
Белорусский государственный технологический университет

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭНЕРГОЗАТРАТ РУБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

Для Республики Беларусь энергетическая проблема всегда остается актуальной, так как страна практически не располагает запасами топливных полезных ископаемых. В среднем за год в стране потребляется энергии в эквиваленте более 30 млн. т условного топлива и только около 15% покрывается собственными ресурсами. Ежегодно свыше 3 млрд. долл. США расходуется из бюджета страны на закупку недостающих энергоресурсов и электроэнергии, что составляет более 30% в объеме всего импорта республики и делает нашу экономику уязвимой и зависимой от внешних поставщиков. Поэтому выходом из сложившегося положения может стать многовекторный подход к получению энергии на основе альтернативных источников путем использования атомной, ветровой, солнечной, водяной энергии и более эффективного использования в энергетических целях биомассы в виде низкокачественной древесины и древесных отходов деревообрабатывающих производств. Опыт многих стран, и прежде всего скандинавских, широко использующих древесное сырье для производства энергии, подтверждает высокую эффективность такого биоэнергетического направления, являющегося хорошим альтернативным способом получения энергии. Вовлечение в переработку древесных отходов, остающихся на лесосеке при рубках главного пользования, а также древесины, получаемой при рубках ухода за лесом, привело к созданию мобильных систем машин для заготовки топливной щепы непосредственно на лесосеке.

Ключевые слова: автономный двигатель, мощность, рубильная машина, щепа, энергия.

A. O. Hermanovich, V. N. Loy, S. P. Mokhov, M. K. Asmolovsky
Belarusian State Technological University

METHODS OF DETERMINING OF THE CHIPPER ENERGY CONSUMPTION

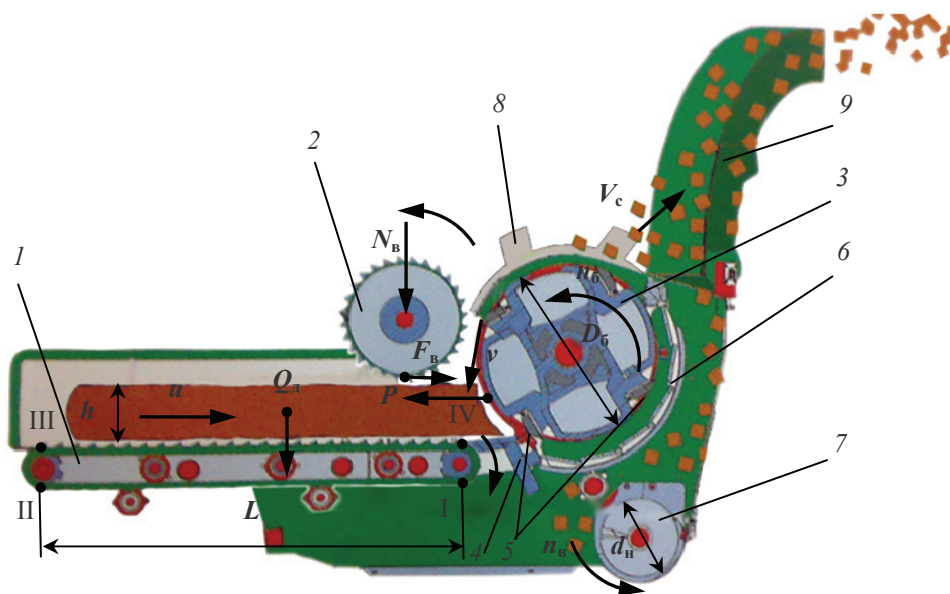
For the Republic of Belarus the energy problem is always relevant of current interest, as the country has almost no reserves of fuel minerals resources. In average the country consumed energy equivalent to more than 30 mln. tons of standard fuel, annually and only about 15% is covered by its own resources. Every year more than 3 bln. US dollars are spent from the national budget for the purchase of the missing energy and electricity, which is more than 30% in the volume of total imports of the republic and makes our economy vulnerable and dependent on external suppliers. Therefore, the way out of this situation could be a multi-pronged approach to energy production through alternative sources by the use of nuclear, wind, solar, water energy and more efficient use of biomass for energy purposes in the form of low-grade wood and wood waste from wood processing industries. The experience of many countries, especially the Scandinavian ones widely using wood raw material for energy production, confirms the high efficiency of the bioenergy direction, which is a good alternative way of obtaining energy. Involvement in the processing of wood waste remaining on the cutting area during final felling, as well as wood, obtained by thinning the forest, has led to the creation of mobile systems of machines for harvesting fuel wood chips directly on the cutting area.

Key words: autonomous engine, power, chipper, chips, energy.

Введение. Переработка лесозаготовительных отходов мобильными рубильными машинами является одной из наиболее доступных и в то же время эффективных технологий получения древесного топлива в виде щепы. Мобильная рубильная машина представляет сложную конструкцию взаимосвязанных между собой узлов и механизмов.

Основная часть. Основным элементом машины является рубильная установка (рисунок), благодаря которой из древесного сырья получается щепа. Так, древесное сырье загружается на подающий транспортер 1, уплотня-

ется прижимным вальцом 2 и подается к рубильному барабану 3, где посредством контроножа 4, резцов 5 и сита 6 измельчается до нужных размеров в щепу. Полученная щепа при помощи винтового конвейера 7 перемещается к вентилятору 8, который и выдувает ее по щепопроводу 9 к месту складирования. Все эти механизмы рубильной установки через механические (барабан, вентилятор, винтовой конвейер) и гидравлические (подающий транспортер, прижимной валец) передачи приводятся в действие от силовой установки (двигателя) [1, 2, 3, 4].



Расчетная схема рубильной установки:

1 – подающий транспортер; 2 – прижимной валец; 3 – барабан; 4 – контрнож; 5 – резцы; 6 – сито; 7 – винтовой конвейер; 8 – вентилятор; 9 – щепопровод

Выбор основных параметров силовой установки в процессе проектирования рубильной машины определяет дальнейшую эффективность ее работы, связанную с производством щепы.

Энергетический расчет сводится к установлению мощности, расходуемой на выполнение операций рубильной установки. Мощность привода рубильной установки равна сумме потерь мощности (энергозатрат) в основных ее механизмах:

$$N = N_1 + N_2 + N_3 + N_4 + N_5, \quad (1)$$

где N_1 – мощность, затрачиваемая на привод подающего транспортера, Вт; N_2 – мощность, затрачиваемая на привод прижимного вальца, Вт; N_3 – мощность, затрачиваемая непосредственно на процесс измельчения древесного сырья в щепу, Вт; N_4 – мощность, затрачиваемая на привод винтового конвейера, Вт; N_5 – мощность, затрачиваемая на выброс щепы через щепопровод, Вт.

Подача древесного сырья в рубильную установку происходит при помощи подающего транспортера и прижимного вальца. В большинстве конструкций рубильных установок подающий транспортер располагается горизонтально либо под весьма небольшим углом. Условием передвижения тягового органа транспортера является усилие, необходимое для преодоления сил сопротивлений, которые препятствуют данному движению.

На расчетной схеме (рисунок) представлен транспортер, у которого обе ветви тягового органа, верхняя и нижняя, поддерживаются соответствующими опорами. Ведущее тяговое ко-

лесо находится справа, сортимент (древесное сырье) лежит на верхней ветви и движется вперед к тяговому колесу. Путь, проходимый тяговым органом, состоит из четырех участков, из них два прямолинейных: I-II и III-IV, и два криволинейных: II-III и IV-I.

Мощность, потребляемая транспортером, определяется по формуле (2) [5, с. 180]:

$$N_1 = \frac{(S_{IV} - S_I + P_3) \cdot u}{\eta_{зв} \cdot \eta_{п}}, \quad (2)$$

где S_{IV} – натяжение тягового органа в точке набегания его на ведущее звено, Н; S_I – натяжение тягового органа в точке сбегающего его с ведущего звена, Н; P_3 – сопротивление загрузки, Н; u – скорость подачи, м/с; $\eta_{зв}$ – коэффициент полезного действия (КПД) звездочки; $\eta_{п}$ – КПД передаточного механизма.

В процессе работы транспортера его тяговый орган загружается и разгружается, что вызывает появление дополнительных сопротивлений и увеличивает его натяжение. Сопротивление загрузки состоит в передаче усилия от тягового органа к древесному сырью. Перемещение древесного сырья на транспортере происходит вследствие трения между грузом (древесным сырьем) и тяговым органом, поэтому сопротивление загрузки равно силе трения [5, с. 178]:

$$P_3 = Q_d \cdot \mu, \quad (3)$$

где Q_d – вес древесного сырья, Н; μ – коэффициент трения между древесным сырьем и тяговым органом.

Натяжение тягового органа в точке сбегания его с ведущего звена S_1 , т. е. на участке I-II, соответствует монтажному натяжению S_0 [5, с. 176]:

$$S_1 = S_0. \quad (4)$$

Перед работой тяговый орган натягивают с силой S_0 , представляющей собой первоначальное, или монтажное, натяжение, создаваемое при помощи натяжного устройства. Для цепного транспортера с небольшим углом подъема монтажное натяжение определяется по условиям сдвига с места нижней ветви тягового органа с целью выбора слабины в шарнирах цепи [5, с. 179]:

$$S_0 = 1,2 \cdot q_1 \cdot \omega \cdot L, \quad (5)$$

где q_1 – вес тягового органа, отнесенного к 1 м длины прямолинейного участка, Н/м; ω – коэффициент сопротивления движению; L – длина прямолинейного участка, м.

Натяжение S_{IV} тягового органа в точке набегания его на ведущее звено определяется по формуле (6) [5, с. 179]:

$$S_{IV} = T_{IV} + S_0, \quad (6)$$

где T_{IV} – тяговое усилие в точке IV, Н.

Тяговое усилие в точке IV является тем усилием, которое необходимо приложить к тяговому органу для приведения его в движение и которое состоит из сопротивлений на прямолинейных и криволинейных участках пути тягового органа. Поэтому значение тягового усилия в точке IV, т. е. в точке набегания тягового органа на ведущую звездочку, будет наибольшим и будет равно сумме сопротивлений на трех (предшествующих) участках. После суммирования сопротивлений участков I-II, II-III и III-IV и приведения подобных членов тяговое усилие в точке IV будет определяться по формуле (7) [5, с. 176]:

$$T_{IV} = 2 \cdot q_1 \cdot \omega \cdot L + q_2 \cdot \omega \cdot L + C_k(q_1 \cdot \omega \cdot L + S_0), \quad (7)$$

где q_2 – вес древесного сырья, отнесенного к 1 м длины тягового органа, Н/м; C_k – коэффициент сопротивления направляющей звездочки.

В формуле (7) первый член ($2 \cdot q_1 \cdot \omega \cdot L$) представляет собой сопротивление движению самого тягового органа, коэффициент 2 указывает, что в расчет принята сумма длин обеих ветвей, нижней и верхней, тягового органа; второй член ($q_2 \cdot \omega \cdot L$) является сопротивлением движению перемещаемого древесного сырья (сопротивление трения). Третий член, с коэффициентом C_k , представляет собой сопротивление направляющей звездочки.

Современные высокопроизводительные рубильные машины имеют в качестве механизма подачи не только транспортер, но и прижимной валец. Прижимной валец может работать как в паре с приводным или с неприводным вальцом, так и без него. Мощность, необходимая для реализации процесса подачи древесного сырья при помощи прижимного вальца, определяется по формуле (8) [5, с. 466]:

$$N_2 = \frac{T \cdot u}{\eta_{пв}}, \quad (8)$$

где T – усилие, необходимое для подачи древесного сырья, Н; $\eta_{пв}$ – КПД передачи от привода к прижимному вальцу.

Для того чтобы подать древесное сырье к рубильному барабану при помощи вальца, необходимо приложить к нему такое усилие, которое будет больше сопротивления от трения (создаваемого на поверхности опор и вальцов весом древесного сырья и самого прижимного вальца) и от сил резания. Усилие, необходимое для подачи древесного сырья, определяется по формуле (9) [5, с. 463]:

$$T = P_p + F_b, \quad (9)$$

где P_p – сопротивление от сил резания, численно равное усилию резания на рубильном барабане, Н; F_b – сила трения на поверхности вальцов, Н.

Сила трения на поверхности вальцов определяется по формуле (10) [5, с. 463]:

$$F_b = z \cdot N_b \cdot \mu_b \cdot k, \quad (10)$$

где z – число приводных вальцов; N_b – суммарное усилие прижимного вальца, равное общему весу древесного сырья и прижимного вальца, Н; μ_b – коэффициент сопротивления движению древесного сырья по вальцу; k – коэффициент запаса.

Мощность, затрачиваемая на процесс измельчения древесного сырья в щепу, определяется по формуле (11) [5, с. 505]:

$$N_3 = \frac{P \cdot (1 + \mu_6) \cdot v}{\eta}, \quad (11)$$

где P – усилие резания на рубильном барабане, Н; μ_6 – коэффициент трения древесины о барабан; v – скорость резания, м/с; η – КПД передаточного механизма.

Скорость резания рубильного барабана [5, с. 56]:

$$v = \frac{\pi \cdot D_6 \cdot n_6}{60}, \quad (12)$$

где D_6 – диаметр окружности резания барабана, м; n_6 – число оборотов барабана, об/мин.

Для получения щепы в рубильных машинах применяется вид резания в торец. В процессе резания к резу прикладывается усилие P , величина которого зависит от сопротивления резанию. Значение сопротивления резанию рассчитать довольно сложно, так как оно определяется взаимосвязанными различными факторами, зависящими от формы реза, строения и физико-механических свойств древесины. В процессе измельчения резец внедряется в древесину и снимает передней режущей кромкой слой древесины, тем самым разрушает древесину, отделяя от ее общей массы частицу щепы. Одновременно резец давит на эту частицу и деформирует ее. С увеличением глубины внедрения давление на слой древесины возрастает, и под влиянием упругой деформации частица щепы отделяется от основной массы древесины, при дальнейшем внедрении отделяется следующий элемент щепы. Усилие резания P , которое приложено к резу, в процессе измельчения древесины изменяется. Оно достигает максимума при внедрении на глубину и падает до наименьшего значения в момент отделения частицы щепы от основной массы древесины. Такое изменение усилий резания является основной причиной вынужденных колебаний рубильной установки [6, 7]. По своей абсолютной величине усилие на резе равно равнодействующей всех сил сопротивления резанию, действующих на резец со стороны древесины (усилие на лезвии реза, нормальное давление и сила трения на передней и задней гранях реза).

При получении щепы надвигание производится одновременно с резанием, поэтому усилие резания на рубильном барабане можно определить по формуле Денфера [5, с. 503]:

$$P = K_y \cdot b \cdot h \cdot \frac{u}{v}, \quad (13)$$

где K_y – коэффициент удельного сопротивления резанию, Н/мм²; b – ширина среза измельчаемого древесного сырья, мм; h – высота среза измельчаемого древесного сырья, мм.

Коэффициент удельного сопротивления резанию K_y состоит из следующих коэффициентов: K_c , учитывающего угол резания; K_d – породе древесины; K_o – степень заострения режущих кромок реза; K_e – влияние толщины щепы на сопротивление резанию; K_b – влияние влажности древесины на сопротивление резанию [5, с. 274]:

$$K_y = K_c \cdot K_d \cdot K_o \cdot K_e \cdot K_b. \quad (14)$$

В формуле усилия резания (13) $b \cdot h = F$ – это проекция площади среза, ее можно определить по размеру загрузочного окна с учетом его заполнения [5, с. 503], т. е.

$$F = b_1 \cdot h_1 \cdot k_3, \quad (15)$$

где b_1 и h_1 – ширина и высота загрузочного окна соответственно, мм; k_3 – коэффициент заполнения сечения окна, зависящий от плотности укладки измельчаемого древесного сырья.

Усилие резания по формуле Денфера получается весьма приближенным вследствие применения множества коэффициентов, которые снижают точность расчетного значения [8, 9]. По этой причине при проведении исследовательских расчетов по определению мощности привода рубильной установки для получения более точных значений необходимо использовать экспериментальные значения усилий резания.

Для перемещения щепы к механизму ее выброса в рубильных установках применяются винтовые конвейеры. В винтовых конвейерах перемещение груза осуществляется с помощью винта, сообщающего при своем вращении поступательное движение щепе, соприкасающейся с его винтовой поверхностью.

Мощность привода горизонтального винтового конвейера, Вт, рассчитывается по формуле (16) [10, с. 48]:

$$N_4 = \frac{P_b \cdot g \cdot \rho_{щ} \cdot l \cdot \gamma}{3600 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2}, \quad (16)$$

где P_b – производительность винтового конвейера, м³/ч; g – ускорение свободного падения, м/с²; $\rho_{щ}$ – плотность щепы, кг/м³; l – длина транспортирующего винта, м; γ – коэффициент сопротивления щепы при ее движении по желобу конвейера; η_1 – КПД привода винта; η_2 – КПД опор винта конвейера.

Плотность щепы определяется по формуле (17) [10, с. 17]:

$$\rho_{щ} = K \cdot \rho, \quad (17)$$

где K – коэффициент полндревесности щепы; ρ – плотность древесины, кг/м³.

Производительность (18) винтового конвейера определяется по формуле [11, с. 473]:

$$P_b = \frac{60 \cdot \pi \cdot (d_n^2 - d_e^2) \cdot s \cdot n_b \cdot \psi}{4}, \quad (18)$$

где d_n – наружный диаметр винта, м; d_e – внутренний диаметр винта, м; s – шаг винта, м; n_b – частота вращения винта, мин⁻¹; ψ – коэффициент заполнения желоба конвейера.

Для такого транспортируемого материала, как щепа, частота вращения винта конвейера определяется по эмпирической зависимости (19) [11, с. 474]:

$$n_b = \frac{60}{\sqrt{d_n}}. \quad (19)$$

В высокопроизводительных рубильных установках может быть от 2 до 4 винтовых конвейеров, поэтому мощность на их привод будет прямо пропорционально возрастать с увеличением их количества. К тому же применение большого количества винтовых конвейеров в рубильной установке ведет к сильному измельчению щепы (переизмельчению, крошению, истиранию) и соответственно снижению ее качества.

Удаление щепы из корпуса рубильной установки возможно при помощи вентилятора либо транспортера. Методика расчета энергозатрат привода выносного транспортера существенно не отличается от рассмотренной выше методики расчета подающего транспортера. Широкое распространение получил способ удаления щепы при помощи вентилятора за счет простоты конструкции, компактности и значительной высоты выброса.

При удалении щепы из рубильной установки вентилятором энергия затрачивается на подъем щепы из нижней части корпуса в его верхнюю часть, а также на создание кинетической энергии при сходе частиц с лопаток вентилятора. Величину расхода энергии на подъем щепы с учетом механического КПД оценивают коэффициентом, равным 1,3 по отношению к величине кинетической энергии, поэтому зависимость для определения мощности, затрачиваемой для привода вентилятора, выглядит следующим образом [12, с. 226]:

$$N_5 = \frac{1,3 \cdot e \cdot R_b \cdot \gamma_b \cdot V_c^2}{2 \cdot g \cdot 0,102}, \quad (20)$$

где e – весовые пропорции смеси щепы и воздуха; R_b – расход воздуха, м³/с; γ_b – плотность воздуха, кг/м³; V_c – средняя скорость схода щепы, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Весовые пропорции смеси щепы и воздуха определяются по формуле (21) [12, с. 209]:

$$e = \frac{\Pi_c \cdot \rho}{R_b \cdot \gamma_b}, \quad (21)$$

где Π_c – производительность рубильной установки, м³/с; ρ – плотность измельченной древесины, кг/м³.

Производительность рубильной установки [12, с. 506]:

$$\Pi_c = b_1 \cdot h_1 \cdot k_3 \cdot u \cdot c_0, \quad (22)$$

где c_0 – коэффициент использования рубильной установки по времени.

Средняя скорость схода щепы [12, с. 219]:

$$V_c = \pi \cdot \frac{D_n - D_b}{2} \cdot \frac{n'_6}{60}, \quad (23)$$

где D_n – наружный диаметр лопаток вентилятора, м; D_b – внутренний диаметр лопаток венти-

лятора, м; n'_6 – угловая скорость вращения вентилятора, об/мин.

Расход воздуха определяется по формуле (24) [12, с. 208]:

$$R_b = S_{тр} \cdot V_b, \quad (24)$$

где $S_{тр}$ – площадь сечения щепопровода, м²; V_b – скорость воздуха, м/с.

Скорость воздуха определяется по следующему выражению [12, с. 215]:

$$V_b = (1,5-2,0) \cdot V_s, \quad (25)$$

где V_s – скорость витания, м/с.

Скорость витания определяется по формуле (26) [12, с. 215]:

$$V_s = 3,7 \times \sqrt{\frac{(1,24 \cdot \sqrt[3]{a_{щ} \cdot b_{щ} \cdot l_{щ}}) \cdot \rho}{0,54 + 0,447 \cdot (1,24 \cdot \sqrt[3]{a_{щ} \cdot b_{щ} \cdot l_{щ}}) / D_{тр}}} \cdot \gamma_b} \times \left(1 - \left[\frac{(1,24 \cdot \sqrt[3]{a_{щ} \cdot b_{щ} \cdot l_{щ}})}{D_{тр}}\right]^2\right), \quad (26)$$

где $a_{щ}$, $b_{щ}$, $l_{щ}$ – размеры щепы, м; $D_{тр}$ – диаметр трубы щепопровода, м.

В случае такого конструктивного исполнения рубильной установки, когда вентилятор находится на одном валу с рубильным барабаном, их угловые скорости будут равны. Параметры воздушного потока зависят от скорости вращения барабана, а также от конструктивных особенностей рубильной установки, щепопровода и наличия рециркуляции воздуха. При увеличении числа оборотов барабана (вентилятора) основные параметры воздушного потока возрастают, а следовательно, увеличивается расход энергии и мощность на вентиляцию, что, в свою очередь, сказывается на общем удельном расходе энергии на измельчение древесного сырья в щепу.

Для механизированной загрузки древесного сырья в рубильную установку в мобильных рубильных машинах применяются гидроманипуляторы, привод гидросистемы которой осуществляется от двигателя базового шасси. Еще одним из источников потребления энергии двигателя являются движители мобильной рубильной машины, которые расходуют энергию на передвижения самой машины. Методики обоснования энергетических параметров шасси и гидроманипулятора достаточно изучены и отражены в работах [13, 14, 15].

Заключение. С использованием методики определения энергетических параметров привода рубильной установки можно также рассчитать основные конструкционные параметры (длину подающего транспортера L ; число при-

водных вальцов z ; диаметр барабана D_6 ; ширину и высоту загрузочного окна рубильной установки b_1 и h_1 соответственно; длину винтового конвейера l ; внутренний и наружный диаметры, шаг винта винтового конвейера d_n , d_b , s соответственно; площадь сечения щепопровода $S_{тр}$; на-

ружный и внутренний диаметры лопаток вентилятора D_n , D_b) механизмов рубильной установки, основываясь на скоростных режимах работы и показателях энергозатрат их привода в зависимости от размерных и физико-механических свойств измельчаемого древесного сырья.

Литература

1. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2015. 26 с.
2. Лой В. Н., Германович А. О. Влияние различных характеристик древесного сырья на энергонасыщенность рубильной машины // Труды БГТУ. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 21–24.
3. Германович А. О., Лой В. Н. Выбор мощности автономного двигателя рубильной машины // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности: материалы Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 17–18 нояб. 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. Могилев, 2011. С. 145.
4. Влияние характеристик древесного сырья на энергозатраты рубильной машины с верхним выбросом щепы / А. О. Германович [и др.] // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф., Могилев, 19–22 апр. 2012 г.: в 2 ч. / М-во образования Респ. Беларусь, М-во образования и науки Рос. Федерации, Белорус.-Рос. ун-т; редкол.: И. С. Сазонов (гл. ред.) [и др.]. Могилев, 2012. Ч. 2. С. 13–14.
5. Рахманов С. И., Гороховский К. Ф. Машины и оборудование лесоразработок. М.: Лесная пром-сть, 1967. 532 с.
6. Германович А. О. Динамическая модель работы мобильной рубильной машины // Автомобиль и электроника. Современные технологии. 2013. № 2 (5). С. 75–78.
7. Жуков А. В. Теория лесных машин: учеб. пособие для вузов. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
8. Бершадский А. Л., Цветаева Н. И. Резание древесины. Минск: Вышэйшая школа, 1975. 303 с.
9. Facello A., Cavallo E., Spinelli R. Chipping machines: disc and drum energy requirements // Journal of agricultural engineering. 2013. Vol. XLIV (s2): e75. P. 378–380.
10. Глебов И. Т. Подъемно-транспортные машины отрасли. Оборудование и методы решения задач по механическому транспорту деревообрабатывающих предприятий: метод. указ. Екатеринбург: УГЛТУ, 2008. 51 с.
11. Таубер Б. А. Подъемно-транспортные машины: учеб. для вузов. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Экология, 1991. 528 с.
12. Вальщиков Н. М. Рубительные машины: учеб. для вузов. СПб.: Машиностроение, 1970. 328 с.
13. Арико С. Е. Обоснование параметров валочно-сучкорезно-раскряжевой машины для рубок промежуточного лесопользования: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2012. 25 с.
14. Бычек А. Н. Обоснование параметров бесчokerной трелевочной машины на базе трактора МТЗ-82: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2000. 20 с.
15. Пищов С. Н. Применение движителя комбинированного типа для повышения тягово-сцепных свойств лесных погрузочно-транспортных машин: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2008. 20 с.

References

1. Hermanovich A. O. *Obosnovanie parametrov mobil'noy rubil'noy mashiny na baze mnogo-funktional'nogo shassi dlya proizvodstva toplivnoy shchepy: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Parameters substantiation of mobile chipper based on multifunctional chassis for wood chips production: Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 2015. 26 p.
2. Loy V. N., Hermanovich A. O. Effect of various characteristics of raw wood on energy saturation of the chipper. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 20–23 (In Russian).
3. Hermanovich A. O., Loy V. N. Selection of power independent engine chipper. *Novye materialy, oborudovanie i tehnologii v promyshlennosti: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferentsii molodyh uchenykh* [New materials, equipment and technologies in the industry: materials of the International scientific and technical conference of young scientists]. Mogilev, 2011. Pp. 145 (In Russian).
4. Hermanovich A. O., Loy V. N., Ariko S. E., Golyakevich S. A. Influence of characteristics of wood raw material to the energy chipper with overhead discharge chips. *Materialy, oborudovanie*

i resursosberegajushhie tehnologii: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii [Materials, equipment and resource-saving technologies: materials of the International scientific and technical conference]. Mogilev, 2012, part 2. Pp. 13–14 (In Russian).

5. Rakhmanov S. I., Gorokhovskiy K. F. *Mashiny i oborudovanie lesorazrabotok* [Machinery and equipment lumbering]. Moscow, Lesnaya prom-st' Publ., 1967. 532 p.

6. Hermanovich A. O. The dynamic model of the mobile chipper. *Avtomobil' i elektronika. Sovremennye tekhnologii* [Car and electronics. Modern technology], 2013, no. 2 (5), pp. 75–78 (In Russian).

7. Zhukov A. V. *Teoriya lesnykh mashin* [The theory of forest machines]. Minsk, BGTU Publ., 2001. 640 p.

8. Bershadskiy A. L., Tsvetaeva N. I. *Rezanie drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1975. 303 p.

9. Facello A., Cavallo E., Spinelli R. Chipping machines: disc and drum energy requirements. *Journal of agricultural engineering*, 2013, vol. XLIV (s2): e75, pp. 378–380.

10. Glebov I. T. *Pod'emno-transportnye mashiny otrasli. Oborudovanie i metody resheniya zadach po mekhanicheskomu transportu derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiy* [Handling machinery industry. Equipment and methods for solving problems in mechanical wood processing enterprises transport]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2008. 51 p.

11. Tauber B. A. *Pod'emno-transportnye mashiny* [Handling machinery]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 528 p.

12. Val'shchikov N. M. *Rubitel'nye mashiny* [Chippers]. St. Petersburg, Mashinostroenie Publ., 1970. 328 p.

13. Ariko S. E. *Obosnovanie parametrov valochno-suchkorezno-raskrzazhevochnoy mashiny dlja rubok promezhutochnogo lesopol'zovaniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Justification harvester parameters for intermediate forest cuttings: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 2012. 25 p.

14. Bychek A. N. *Obosnovanie parametrov beschokernoy trelevochnoy mashiny na baze traktora MTZ-82: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Justification settings beschokernoy skidder on the basis of MTZ-82: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 2000. 20 p.

15. Pishchov S. N. *Primenenie dvizhitelya kombinirovannogo tipa dlya povysheniya tyagovo-stsepnikh svoystv lesnykh pogruzochno-transportnykh mashin: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [The use of propeller type combined to enhance traction characteristics of forest cargo transport vehicles: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 2008. 20 p.

Информация об авторах

Германович Александр Олегович – кандидат технических наук, ассистент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: germanovich@belstu.by

Лой Владимир Николаевич – кандидат технических наук, доцент, декан факультета технологии и техники лесной промышленности. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: tlp@belstu.by

Мохов Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: lmitlz@belstu.by

Асмоловский Михаил Корнеевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: asmika59@mail.ru

Information about the authors

Hermanovich Alexander Olegovich – PhD (Engineering), Assistant of the Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: germanovich@belstu.by

Loy Vladimir Nikolaevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Dean of the Forestry Engineering and Wood Technology Faculty. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tlp@belstu.by

Mokhov Sergey Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lmitlz@belstu.by

Asmolovskiy Mikhail Korneevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: asmika59@mail.ru

Поступила 10.11.2016

УДК 630*372

А. О. Шошин, П. А. Протас, С. П. Мохов, С. Е. Арико
Белорусский государственный технологический университет

**МЕТОДИКА ИМИТАЦИОННЫХ ИСПЫТАНИЙ
ОДНОМАЧТОВОЙ КАНАТНОЙ УСТАНОВКИ
ДЛЯ ПОЛУПОДВЕСНОЙ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ**

На 2016 год Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь доведен общий объем заготовки древесного сырья по труднодоступному лесосечному фонду в размере 1,379 млн. м³. Ежегодная доля таких лесов находится в пределах 4–8%. Освоение лесосек в данных условиях широко внедряемыми в последнее время харвестерами и форвардерами неэффективно, а в большинстве случаев невозможно. Ограничениями в данном случае являются низкая несущая способность грунтов и экологическая чувствительность лесных экосистем. Учитывая наличие труднодоступных заболоченных территорий лесосечного фонда в Республике Беларусь, для их освоения ведутся работы по созданию мобильной канатной трелевочной установки. С целью обоснования параметров канатной установки, а также разработки рекомендаций по ее использованию необходимо проведение экспериментальных исследований в реальных условиях эксплуатации. В частности, необходимо получить данные о характере возникающих усилий в канатах при выполнении операции первичного транспорта древесины, определить напряжения в трелевочных мачтах. Такие данные можно получить путем проведения имитационных испытаний установки, когда объектом исследования может быть трелевочный трактор с канатно-чокерной оснасткой и дополнительным технологическим оборудованием. В данной статье приведена разработанная методика имитационных испытаний канатной системы, дано описание проведения исследований, экспериментальной установки и измерительного оборудования.

Ключевые слова: канатная установка, методика испытаний, датчик, тяговое усилие.

A. O. Shoshin, P. A. Protas, S. P. Mokhov, S. E. Ariko
Belarusian State Technological University

**METHOD SIMULATION TEST SINGLE-MASTED CABLE SETTING
FOR HALF HANGING TIMBER SKIDDING**

In 2016 the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus brought the total amount of raw wood blanks for hard-cutting fund of 1,379 million m³. The annual share of such forests is in the range of 4–8%. Development of cutting areas under such conditions widely introduced recently harvesters and forwarders is not effective, and in most cases impossible. Constraints in this case are the low bearing capacity of soils and environmental sensitivity of forest ecosystems. Given the difficult wetlands forest fund in the Republic of Belarus, for their development work is underway to create a mobile skidder cable installation. In order to study the parameters of the cable installation, as well as the development of recommendations on its use is necessary to conduct experimental research in real-world conditions. In particular it is necessary to obtain data on the nature of the emerging forces in the ropes during the operation of the primary transport of wood to determine the stresses in the skid masts. Such data can be obtained by carrying out simulation test facility, when the object of study can be skidder with choker rope-rigging and additional process equipment. This article describes a technique developed simulation test the cable system, a description of the research, of the experimental setup and measurement equipment.

Key words: cable setting, test procedure, sensor, pulling force.

Введение. В настоящее время в Республике Беларусь в распоряжении субъектов, ведущих заготовку древесных ресурсов, отсутствует единая научно обоснованная технология и технические средства разработки труднодоступных, экологически чувствительных лесных массивов. При этом на 2016 год Министерством лесного хозяйства доведен общий объем заготовки по труднодоступному лесосечному фонду в размере 1,379 млн. м³ [1].

При ежегодном приросте запасов древесины до 30 млн. м³ и общем объеме заготовки 19–20 млн. м³ будет наблюдаться тенденция к увеличению спелых и перестойных насаждений. Соответственно будут переходить в разряд спелых и насаждения, находящиеся в заболоченной местности.

Наметившаяся тенденция к увеличению объемов заготовки древесины за счет использования многооперационных машинных комплексов не

обеспечит полное освоение мягколиственных заболоченных лесных массивов.

Из существующих на сегодняшний день технических средств для разработки труднодоступного лесосеченого фонда (лесные машины с гусеничным движителем, шагающей ходовой системой, минитракторы, канатные установки и т. д.) наиболее эффективными для условий Республики Беларусь могут быть рекомендованы мобильные канатные трелевочные установки. В Беларуси имелся определенный опыт применения таких установок. Так, по данным Ходосовского М. В. [2], объем лебедочной заготовки в период с 1956 по 1966 годы варьировался от 0,20 до 0,45 млн. м³ в год, с учетом того что расчетная лесосека была в несколько раз меньше, чем сейчас, а сменная выработка на одну установку находилась в пределах 18–25 м³.

В последние годы в стране также существует положительная практика применения канатных трелевочных установок. Так, на данный момент успешно ведется заготовка древесины на заболоченных лесосеках чешской канатной установкой Larix 3T. В период с января по март 2010 года в ГЛХУ «Брестский лесхоз» работала установка Larix Lamako [3], которой за период с января по март было отработано 32 смены и заготовлено 1122 м³ при средней сменной выработке 35 м³.

В странах Европы, таких как Австрия и Швейцария, доля использования канатного транспорта древесины в настоящее время составляет более 20% от общего объема заготовки [4]. Важно отметить, что отличительным лесорастительным аспектом этих стран является значительная доля горных лесов, однако нельзя недооценивать перспективу применения таких установок и для заболоченного лесфонда.

Минским тракторным заводом ведутся работы по производству первой отечественной канатной установки для полуподвесной трелевки МТК-431 [5]. Данная установка на данный момент проходит доработку и практическую апробацию.

С целью разработки рекомендаций по эксплуатации отечественной канатной установки, обоснования параметров ее основных узлов необходимо иметь конкретные данные о характере возникающих усилий в канатах при выполнении операции первичного транспорта древесины, определить напряжения в трелевочных мачтах и т. д. С достаточной степенью точности такие данные можно получить путем проведения имитационных испытаний установки, когда объектом исследования может быть трелевочный трактор с канатно-чокерной оснасткой и дополнительным технологическим оборудованием.

Основная часть. Анализ работ отечественных и зарубежных авторов [2, 3, 6–11] и практических наблюдений позволил выбрать предмет исследования и определить основные проблемные моменты для изучения. Например, как отмечает профессор Белая Н. М. [10], «наиболее опасные режимы работы тягового каната соответствуют периоду подтягивания груза со стороны к линии несущего каната, подъема к каретке, прицепки и стопорения, при этом динамические коэффициенты составляют от 1,5 до 2,4 в зависимости от веса груза и времени его стопорения». Исходя из этого, целью эксперимента является исследование характера движения лесоматериалов при выполнении операции подтрелевки канатными трелевочными установками для полуподвесного транспорта древесины.

Разработанная методика экспериментальных испытаний включает следующие основные этапы:

- а) выбор предмета исследования;
- б) оценка и выбор условий для проведения исследований;
- в) подготовка экспериментального участка;
- г) выбор и подготовка измерительной аппаратуры и экспериментальной установки;
- д) регистрация полученных данных и их обработка существующими методами.

Предмет исследования – усилия в тяговом канате при выполнении подтрелевки хлыстов. Для проведения экспериментальных измерений тягового усилия в летнее время была выбрана полоса лесосеки, отведенной для полосно-постепенной рубки шириной 50×20 м. Работы велись в 13-м выделе 77-го квартала Центрального лесничества Негорельского учебно-опытного лесхоза. Тип леса – сосняк орляковый. Тип условий местопроизрастания – В2. Подрост отсутствовал. Средний объем хлыста – 0,46 м³.

Перед проведением эксперимента была проведена валка всех деревьев на полосе вершинами к ее центру (рис. 1).

Валка деревьев и обрезка сучьев проводилась до монтажа установки. На выбранной лесосеке отсутствовали высокие пни, «сидящие» на корневых лапах, которые являются одной из основных проблем при разработке заболоченного лесфонда, однако с точки зрения технологической приближенности имитации процесса подтрелевки было учтено большинство возникающих в процессе трелевки ситуаций.

При валке деревьев имитировались несколько производственных ситуаций последующей трелевки: трелевка хлыстов, поваленных на подкладочное дерево (костромской метод) при изменении угла трелевки; трелевка хлыстов под углом; трелевка, при которой ось каната совпадала с осью хлыста.



Рис. 1. Экспериментальный участок (полоса разрабатываемой лесосеки)

В процессе эксперимента был смитирован процесс подтрелевки хлыстов для полуподвесных канатных установок типа Lagix 3T, МТК-431. Результатом проведенных испытаний являются опытные данные о характере возникающих усилий в процессе подтрелевки лесоматериалов, на основе которых можно осуществлять выбор тягового каната, а также расчет мощности привода лебедки и других параметров.

Для проведения эксперимента был принят способ полуподвесной трелевки хлыстами. С точки зрения проходимости хлыста по трелевочному коридору наиболее эффективным из всех является способ трелевки хлыстов за вершины. При таком способе вершина хлыста весьма значительно прогибается [2, 7], что позволяет хлысту относительно беспрепятственно проходить по волоку. По исследованиям Алышева И. Ф. [6], коэффициент сопротивления при трелевке еловых деревьев принимает значения в диапазоне 0,65–1,64, для деревьев остальных пород – 0,62–1,53. При этом автор производил исследование характера изменения возникающих усилий «по чистому волоку», т. е. при наиболее благоприятных условиях. Алышев И. Ф. определил, что при трелевке хлыстов без вершин зависимость коэффициента сопротивления движению и расстояния трелевки имеет линейный характер, в то время как зависимость для трелевки деревьев представляет собой квадратное уравнение. Это объясняет значительные усилия тяги, в наихудших условиях в 1,5 раза превышающие вес пачки.

При выборе измерительной аппаратуры были проанализированы методики испытаний ученых НЛТУ – Белой Н. М., Адамовского Н. Г., Матвеева Э. Н., которые исследовали усилия в тяговом органе канатных трелевочных установок. Для проведения испытаний по [8–10] применялся метод электротензометрирования, «основанный на преобразовании измеряемых механических величин в пропорциональные им электрические с помощью датчиков сопротивления и регистрацией сигналов осциллографом». Для измерения усилий в тяговом канате использовался способ косвенных замеров с по-

мощью двух-, трех- и четырехблочных динамометрических кареток, оборудованных кольцевыми тензоэлементами [8–10]. Для предварительного определения диапазона возникающих усилий в неподвижных канатах использовались динамометрические звенья.

В нашем случае в качестве измерительной аппаратуры для эксперимента применялся многоканальный измерительный усилитель сигнала НВМ Spider8, который подключался к ноутбуку с соответствующим программным приложением. Для соединения напрямую датчика силы НВМ U9B (рис. 2) с измерительным комплексом применялся кабельный удлинитель с четырьмя жилами. Питание измерительного комплекса осуществлялось с помощью автомобильного аккумулятора. Для определения «чистого» тягового усилия (без потерь на трение в блоках, перемещение самого каната), затрачиваемого на перемещение лесоматериалов, датчик силы U9B устанавливался между цепью чокара и замком (рис. 2). Со стороны хлыста датчик соединялся с помощью болта, продетого через проушину датчика с цепным чокаром путем продевания этого же болта через звено цепи. Со стороны собирающего каната датчик с помощью болта, продетого через проушину датчика, соединялся с замком для цепи собирающего каната. Измерения параметров хлыстов, а также линейные размеры испытательного участка производились 30-метровой рулеткой.

Датчик силы типа НВМ U9B (тензодатчик) предназначен для измерения величины приложенного усилия. Такие датчики (резистивные) предназначены для преобразования усилия от веса груза в электрический сигнал, пропорциональный прикладываемому усилию. Основа датчиков – это измерительный мост, состоящий из четырех тензорезисторов, имплантированных в кремниевую мембрану (упругий элемент, воспринимающий нагрузку). Внешнее усилие передается сенсору через металлический плунжер, что вызывает деформацию мембраны и появление на выходе моста сигнала рассогласования, выраженного в мВ/В [12, 13]. Данный

сигнал регистрировался усилителем НВМ Spider8, и фактические значения возникающих усилий тяги отображались с шагом в 0,02 секунды в пакете MS Excel. Общий вид датчика и мостовая схема включения представлены на рис. 3.

Трелевочный трактор вместе с вспомогательным оборудованием (канаты для растяжек, зажимы для канатов, такелажные скобы, естественная мачта) представлял собой импровизи-

рованную одномачтовую канатную установку (рис. 4). В качестве тягового органа использовался канат лебедки ТП30 (тяговое усилие – 30 кН, длина каната – 50 м, диаметр – 12 мм) трелевочного трактора ТТР-401 [14]. Транспортирование древесины производилось при частоте вращения вала двигателя трактора 1000 об/мин, при нахождении вала отбора мощности во втором положении с частотой вращения 470 об/мин.



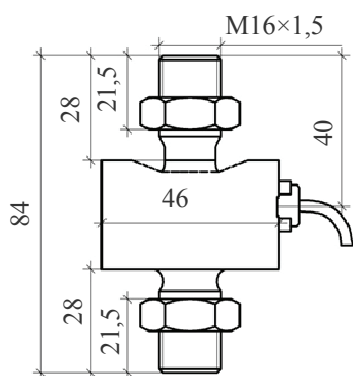
а



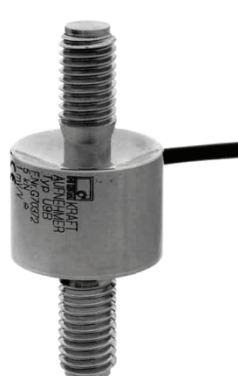
б

Рис. 2. Измерительная аппаратура:

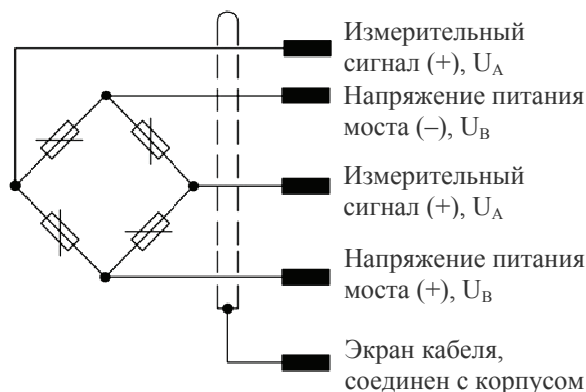
а – крепление датчика силы между чокером и замком; б – комплект измерительного оборудования



а



б



в

Рис. 3. Датчик силы U9B:

а – корпус датчика; б – внешний вид датчика без металлической оболочки; в – четырехпроводная схема включения датчика



а



б

Рис. 4. Имитационная одномачтовая канатная трелевочная установка на базе ТТР-401:

а – общий вид трактора ТТР-401; б – общий вид естественной мачты в процессе осуществления трелевки

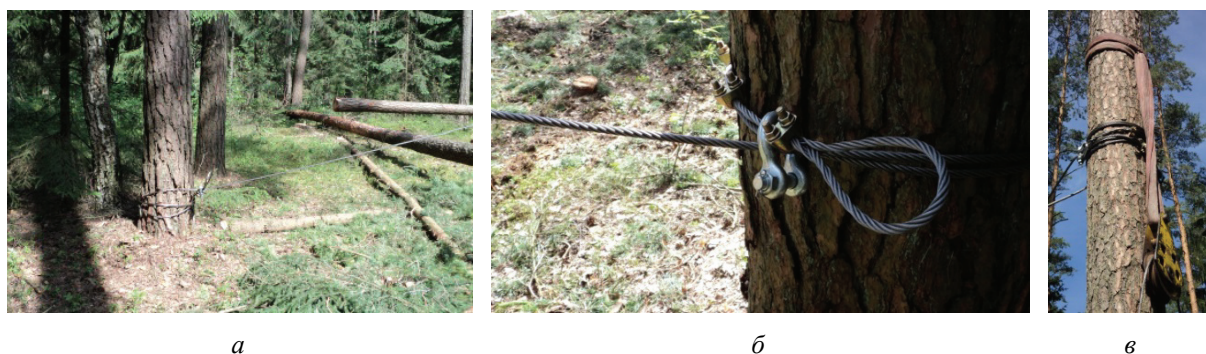


Рис. 5. Крепление растяжек:
а, б – якорное дерево; *в* – мачта

В результате предварительных расчетов по методике [15] было определено, что при применении двух растяжек, расположенных под углом 70° друг к другу в плане, возникающие в них усилия в результате действия максимальной силы тяги лебедки в 3 т составят 20 кН. Минимальный диаметр дерева у комля должен быть не менее 30 см. В качестве естественной мачты было выбрано здоровое сосновое дерево с диаметром на высоте груди 48 см. Для обеспечения частично полуподвесной трелевки использовался 5-тонный направляющий блок.

Выбор каната для растяжек производился в соответствии с рекомендациями [16, 17]. В качестве гибкого органа для растяжки был выбран канат стальной шестипрядный двойной свивки, диаметр – 11,5 мм, фактическое суммарное разрывное усилие проволок в канате – 101,9 кН, нераскручивающийся, количество проволок – 216, сердечник органический пеньковый, пропитанный торсиоловой смазкой марки 35 (ГОСТ 7668–80).

В качестве растяжек применялись два отрезка каната по 20 м с заделанными в петлю концами. По рекомендации [17] для сплетения каждого из концов каната были применены 3 дугообразных зажима (модель VL114213 диаметром 13 мм), зажимы были закреплены на расстоянии 80 мм друг от друга. Растяжки устанавливались к комлевой части растущих деревьев в противоположной стороне от разработанной полосы. Грузовой блок был закреплен на дереве с помощью бесконечного текстильного стропа, продетого за щеку блока. Блок располагался на мачте на высоте 3,2 м, растяжки крепились на мачте на высоте 2,7 м. С обеих сторон растяжки крепились на дереве такелажными скобами для предотвращения вырывания каната. Время на устройство двух растяжек заняло соответственно 5,3 и 5,5 мин. Затраты времени на демонтаж растяжек, блока и датчика заняли 10,2 мин.

На рис. 5 показано крепление растяжек на якорном дереве и на мачте.

При выполнении эксперимента хлысты трелевали различными способами: за комлевою и вершинную часть хлыста без подкладочного дерева и за комлевою часть с подкладочным деревом (рис. 1). При этом для получения достоверных результатов количество опытов определяется методами математической статистики.

Кроме того, деревья на участке лесосеки укладывают после валки под разным углом в определенном диапазоне, что также будет влиять на усилие в канатах при трелевке. В этой связи методикой испытаний предусмотрено проведение измерений изменения рывкового усилия тяги от первоначального угла трелевки.

Заключение. Разработанная методика имитационных испытаний одномачтовой канатной установки для полуподвесной трелевки древесины позволяет с использованием широко применяемого трелевочного трактора ТТР-401 и дополнительного оборудования проводить комплекс экспериментальных исследований с получением в реальных эксплуатационных условиях достоверных данных о возникающих усилиях в тяговом канате, растяжках и мачтах.

При этом используется комплекс измерительного оборудования: многоканальный измерительный усилитель сигнала НВМ Spider8, ноутбук с соответствующим программным приложением, датчик силы типа НВМ U9B, кабельный удлинитель, рулетка.

В качестве дополнительного оборудования к трелевочному трактору использовались: канаты для растяжек длиной 20 м и диаметром 11,5 мм; 5-тонный направляющий блок; дугообразные зажимы модели VL114213 диаметром 13 мм; текстильный строп; такелажные скобы.

В результате проведения эксперимента были получены опытные данные, которые позволяют определить основные факторы, влияющие на изменение усилия в тяговом канате в процессе подтрелевки хлыстов.

Литература

1. Лесной фонд [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства лесного хозяйства. URL: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (дата обращения: 19.10.2016).
2. Ходосовский М. В. Исследование проходимости хлыстов при полуподвесной трелевке лебедками: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 1968. 276 с.
3. Особенности трелевки древесины канатными установками на труднодоступных территориях // *Woodworking news*. № 5–6 (113–114), май-июнь 2010 г. С. 8–9.
4. Dupire S., Bourrier F., Berger F. Predicting load path and tensile forces during cable yarding operations on steep terrain // *Journal of Forest Research*. 2016. Vol. 21, issue 1. P. 1–14.
5. Пищов С. Н., Мохов С. П., Гороновский А. Р. Обоснование параметров мобильной канатной трелевочной машины // *Труды БГТУ*. 2012. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 49–50.
6. Алышев И. Ф. Исследование сопротивления движению при трелевке лебедками ТЛ-3 полуподвесным способом: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Санкт-Петербург, 1953. 15 с.
7. Коротяев Л. В. Исследование сопротивления движению при трелевке леса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Свердловск, 1970. 32 с.
8. Матвеев Э. Н. Динамика подъема и стопорения груза на подвесных канатных лесотранспортных установках: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Львов, 1983. 252 с.
9. Адамовский Н. Г. Оптимальные режимы нагружения несущих канатов подвесных лесотранспортных установок с учетом приведенной жесткости системы: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Львов, 1984. 296 с.
10. Белая Н. М. Теоретические и экспериментальные исследования стальных канатов подвесных лесотранспортных установок: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.01. Москва, 1967. 42 с.
11. Алябьев В. И. Исследование тяговых усилий лебедок при полуподвесной трелевке леса: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Москва, 1958. 20 с.
12. Руководство по эксплуатации датчика силы U9B [Электронный ресурс] // Официальный сайт фирмы HBM. URL: http://www.hbm.cz/Prospekty/Sila/U9B/p_U9B_e.pdf (дата обращения: 19.10.2016).
13. Тензометрические датчики силы [Электронный ресурс] // Девайс серч: [сайт]. URL: http://www.devicesearch.ru/article/datchiki_sily (дата обращения: 19.10.2016).
14. Беларусь ТТР-401 [Электронный ресурс] // Официальный сайт Минского тракторного завода. URL: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/forest-machines/belarus-ttr-401m/> (дата обращения: 19.10.2016).
15. Матвейко А. П., Федоренчик А. С. Технология и машины лесосечных работ: учеб. для вузов. Минск: Технопринт, 2002. 480 с.
16. Кусакин Н. Ф., Минаков И. Ф., Носиков А. А. Стальные канаты на лесозаготовках. М.: Лесная промышленность, 1982. 136 с.
17. Некрасов Р. М. Монтаж оборудования на лесосеке. М.: Лесная промышленность, 1964. 214 с.

References

1. *Lesnoj fond* [Forest fund]. Available at: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (accessed: 19.10.2016).
2. Khodosovsky M. V. *Issledovanie prokhdimosti khlystov pri polupodvesnoy trelevke lebedkami: dis. ... kand. takhn. nauk* [Research stems patency at high lead yarding winches: dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 1968. 276 p.
3. Features timber yarding cable yarders in remote areas. *Woodworking news magazine*, no. 5–6 (113–114), May-June 2010, pp. 8–9 (In Russian).
4. Dupire S., Bourrier F., Berger F. Predicting load path and tensile forces during cable yarding operations on steep terrain. *Journal of Forest Research*, 2016, vol. 21, issue 1, pp. 1–14.
5. Pishchov S. N., Mokhov S. P., Goronovskiy A. R. Justification parameters of mobile cable yarder. *Trudy BGTU* [Proceedings BSTU], 2012, no. 2: Forest and Woodworking industry, pp. 49–50 (In Russian).
6. Alyshev J. F. *Issledovanie soprotivleniya dvizheniyu pri trelevke lebedkami TL-3 polupodvesnym sposobom: avtoref. ... dis. kand. tekhn. nauk* [Resistance movement study yarding winch TL-3 semi-overhead way: abstract of thesis PhD (Engineering)]. St. Petersburg, 1953. 15 p.
7. Korotyaev L. V. *Issledovanie soprotivleniya dvizheniyu pri trelevke lesa: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Study of the resistance movement at the timber yarding: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Sverdlovsk, 1970. 32 p.
8. Matveev E. N. *Dinamika pod'yema i stoporeniya gruzha na podvesnykh kanatnykh lesotransportnykh ustanovkakh: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Dynamics lifting and locking the load on pendant rope highlead yarders: dissertation PhD (Engineering)]. Lvov, 1983. 252 p.

9. Adamovskiy N. G. *Optimal'nye rezhimy nagruzheniya nesushchikh kanatov podvesnykh lesotransportnykh ustanovok s uchetom privedennoy zhestkosti sistemy: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Optimal loading regimes carrying ropes suspended lesotrans tailors installations taking into account the reduced stiffness of the system: dissertation PhD (Engineering)]. Lvov, 1984. 296 p.
10. Belaya N. M. *Teoreticheskie i eksperimental'nye issledovaniya stalnykh kanatov podvesnykh lesotransportnykh ustanovok: avtoref. dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Theoretical and experimental investigation of steel ropes suspended highlead yarders: abstract of thesis DSc (Engineering)]. Moscow, 1967. 42 p.
11. Alyab'yev V. I. *Issledovanie tyagovykh usily lebedok pri polupodvesnoy trelevke lesa: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Study of traction winches with highlead yarding: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Moscow, 1958. 20 p.
12. Manual of U9B force sensor. The official website of the company HBM. Available at: http://www.hbm.cz/Prospekty/Sila/U9B/p_U9B_e.pdf (accessed: 10.19.2016).
13. Strain gauge force sensors. Device search. Available at: http://www.devicesearch.ru/article/datchiki_sily (accessed: 10.19.2016).
14. Belarus TTR-401. The official website of the Minsk Tractor Factory. Available at: <http://www.belarus-tractor.com/catalog/forest-machines/belarus-ttr-401m/> (accessed: 10.19.2016).
15. Matveiko A. P., Fedorenchik A. S. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot* [Technology and machines of logging activities]. Minsk, Tehnoprnt Publ., 2002. 480 p.
16. Kusakin N. F., Minakov J. F., Nosikov A. A. *Stal'nye kanaty na lesozagotovkakh* [Steel ropes in logging]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 136 p.
17. Nekrasov R. M. *Montazh oborudovaniya na lesoseke* [Setup of equipment on the cutting area]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1964. 214 p.

Информация об авторах

Шошин Артем Олегович – аспирант кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: raul777gol@mail.ru, shoshyn@belstu.by.

Протас Павел Александрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Protas77@rambler.ru.

Мохов Сергей Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Imitlz@belstu.by

Арико Сергей Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин и технологии лесозаготовок. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: sergeyariko@mail.ru.

Information about the authors

Shoshin Artem Olegovich – PhD student, Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: raul777gol@mail.ru, shoshyn@belstu.by.

Protas Pavel Alexandrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Protas77@rambler.ru.

Mokhov Sergey Petrovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Imitlz@belstu.by.

Ariko Sergey Yevgen'evich – PhD (Engineering), Assistant Professor of the Department of Forestry Machinery and Logging Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergeyariko@mail.ru.

Поступила 10.11.2016

УДК 630*383+630*37

М. Т. Насковец, М. Н. Дини

Белорусский государственный технологический университет

**КОМБИНИРОВАННЫЕ ГЕОСИНТЕТИЧЕСКИЕ ПРОСЛОЙКИ
ДЛЯ УСТРОЙСТВА ЛЕСНЫХ ДОРОГ. КОНСТРУКЦИИ
И РЕЗУЛЬТАТЫ ЛАБОРАТОРНЫХ ИСПЫТАНИЙ**

В статье дается оценка работы автомобильных дорог при воздействии колесной нагрузки транспортных средств. В частности, отмечается, что силы, возникающие при вертикальном воздействии колес автотранспорта, приводящие к сжатию каждого из слоев дорожной конструкции, также способствуют интенсивному горизонтальному движению материалов последних. Повысить работоспособность слоистых дорожных систем можно посредством использования для этих целей геосинтетических прослоек.

На основании анализа наиболее распространенных в практике дорожного строительства конструкций и технологий устройства дорожных одежд и земляного полотна сделан вывод, что главным образом для этого служат горизонтальные разделяющие и армирующие прослойки. Минимизировать боковой выпор грунтов способны прослойки, которые вводятся в конструктивные слои и устанавливаются вертикально. Отмечается, что наибольший стабилизационный эффект можно достичь за счет применения комбинированных прослоек из сочетания вертикально и горизонтально устанавливаемых соединенных друг с другом полос из геосинтетического материала. Проведенные лабораторные испытания подтвердили эффективность работы комбинированных геосинтетических прослоек.

Ключевые слова: дорожная конструкция, колесная нагрузка, комбинированные геосинтетические прослойки, лабораторные испытания.

M. T. Naskovets, M. N. Dini

Belarusian State Technological University

**COMBINED GEOSYNTHETIC LAYERS
FOR FOREST ROAD STRUCTURE. CONSTRUCTS
AND RESULTS OF LABORATORY TESTS**

The article assesses the operation of roads under the influence of the wheel load of vehicles. In particular it noted that the forces arising from impact of wheels of vehicles vertically, leading to compression of each layer road structure, also contribute to the intense horizontal movement of the latter materials. Increase the efficiency of road systems can be layered by using for this purpose geosynthetic layers.

Based on the analysis of the most common practices in road construction designs and technology devices pavements and subgrade concluded that mainly serve this horizontal dividing and reinforcing layer. Minimize side riser capacity of soil layers, which are introduced in the structural layers and installed vertically. It is noted that the greatest stabilization effect can be achieved through the use of combined layers of a combination of vertical and horizontal mounted interconnected strips of geosynthetic material. The laboratory tests confirmed effectiveness work combined geosynthetic layers.

Key words: road construction, wheel load, combined geosynthetic layer, laboratory tests.

Введение. Практика эксплуатации лесных дорог под воздействием динамических нагрузок тяжеловесного подвижного состава показывает, что в дорожной конструкции происходит хаотическое смещение друг относительно друга частиц материалов, слагающих ее слои. Это приводит к образованию различного рода разрушений автомобильных дорог.

Конструктивные элементы дорог по-разному воспринимают и перераспределяют возникающие в них напряжения, в результате чего происходит снижение их эксплуатационных качеств. Таким образом, возникает достаточно

актуальная проблема усиления конструкций земляного полотна и слоев дорожных одежд при перемещении по ним колесного транспорта [1]. Одним из эффективных способов для решения задачи стабилизации работы конструктивных слоев под нагрузкой является использование различного вида упрочняющих прослоек из геосинтетических материалов.

Основная часть. Под воздействием колес автомобилей и других транспортных средств, а также погодных-климатических факторов происходит износ верхнего слоя покрытия, иногда появляются деформации в виде выбоин, волн,

просадок, сдвигов, наплывов. Одной из важнейших задач при проектировании лесовозных автомобильных дорог является обеспечение прочности дорожного покрытия [1–7].

Наиболее характерным разрушением грунтового основания при воздействии нагрузки [8], сосредоточенной на малых площадях (колесной нагрузки), является образование поверхностной скольжения и выдавливания грунта (рис. 1).

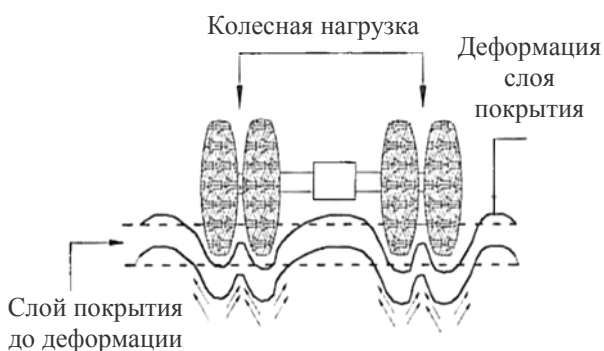


Рис. 1. Деформация дорожного покрытия под колесной нагрузкой

Для предотвращения перемешивания материалов конструктивных слоев, перераспределения давления от транспорта и дорожной одежды на большую площадь слабо подстилающего грунта применяются геосинтетические прослойки (рис. 2), которые имеют высокую прочность и износоустойчивость, не гнивают в грунте, в мокром состоянии не снижают прочность на разрыв, хорошо фильтруют воду.

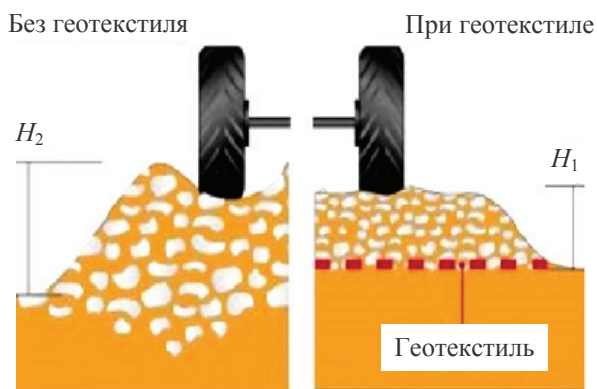


Рис. 2. Визуализация использования прослоек

Также геосинтетические материалы являются эффективным решением, позволяющим использовать все положительные свойства местных строительных материалов. Влияние геосинтетических прослоек на прочность объясняется тем, что при деформировании подстилающего грунта они растягиваются и воспринимают часть нагрузки, перераспределяя ее на значительно большую площадь грунта (рис. 2).

Всесторонний анализ современного состояния имеющихся теоретических разработок и опыта практического применения различного вида прослоек [9–13] показывает, что, как правило, их укладывают в дорожное полотно в виде горизонтальных полос посредством раскатывания из рулонов (рис. 3).

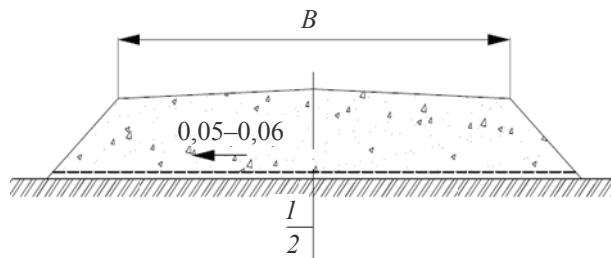


Рис. 3. Варианты устройства горизонтальной прослойки:
1 – дорожная одежда; 2 – прослойка из геосинтетического материала

Чтобы максимально снизить боковое смещение частиц материалов, слагающих слои дорожных конструкций, предлагается введение в их структуру вертикальных геосинтетических прослоек (рис. 4) [14].

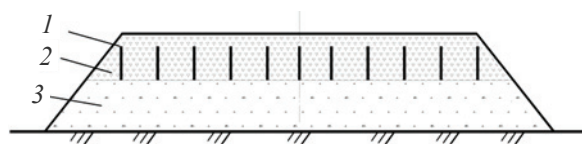


Рис. 4. Вариант покрытия с вертикальными прослойками:

1 – вертикальные прослойки;
2 – песчано-гравийная смесь; 3 – песок

С точки зрения комплексной стабилизации слоистых дорожных систем, на автомобильных дорогах наиболее рационально применение комбинированных прослоек, состоящих из горизонтальных рулонных геосинтетических материалов, на поверхности которых крепятся устанавливаемые вертикально полосы из этого же материала (рис. 5) [15].

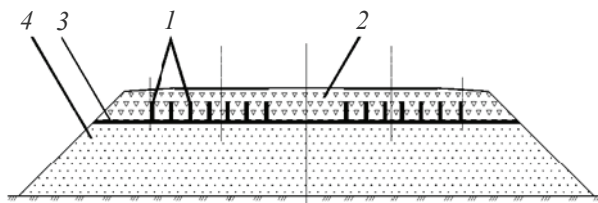


Рис. 5. Дорожная конструкция с комбинированной одеждой:

1 – вертикальные полосы; 2 – дорожная одежда;
3 – рулонный геосинтетический материал;
4 – земляное полотно

Разработанное техническое решение позволяет повысить несущую способность дорожного покрытия, улучшить эксплуатационные качества дорожной одежды. В данном случае дорожная конструкция включает размещение вертикальных полос геосинтетического материала с одновременным заполнением межполосного расстояния грунтом, каждый слой формируют посредством предварительной раскатки рулонного геосинтетического материала, имеющего на своей поверхности прикрепленные к нему и сложенные горизонтально вертикальные полосы, обладающие определенной жесткостью, которые в процессе раскатки рулонного материала устанавливаются перпендикулярно горизонтальной плоскости. После этого производится отсыпка грунта между полосами, причем вертикальные полосы в сложенном состоянии могут перекрывать друг друга или не доходить до места крепления смежных полос с материалом. Гибкость материала должна обеспечить вертикальную жесткость при отсыпке грунтом и одновременно горизонтальную гибкость при отсыпке грунтом в сложенном состоянии.

Для оценки влияния прослоек на прочность дорожных конструкций на грунтовом канале

кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины БГТУ были заложены опытные участки покрытий. В частности, для проведения экспериментов устраивалось покрытие без прослоек, с горизонтальной прослойкой и комбинированные с горизонтальными и вертикальными прослойками высотой и расстояниями между ними 5 и 10 см (рис. 6).

После подготовки и устройства опытных участков (рис. 7) для определения напряжений и установления зависимостей, характеризующих распределяющую способность конструктивных слоев устраиваемых участков, в них на разных глубинах в определенной последовательности закладывались предварительно оттарированные тензорезисторные преобразователи давления (месдозы).

В свою очередь месдозы подключались к усилителю Spider-8 и ноутбуку (рис. 8), в котором для настройки, регистрации и обработки данных, получаемых с измерительного прибора, имеется пакет программного обеспечения Catman.

После этого каждый из участков испытывали посредством колесной нагрузки экспериментального стенда. Результаты измерений приведены на рис. 9.

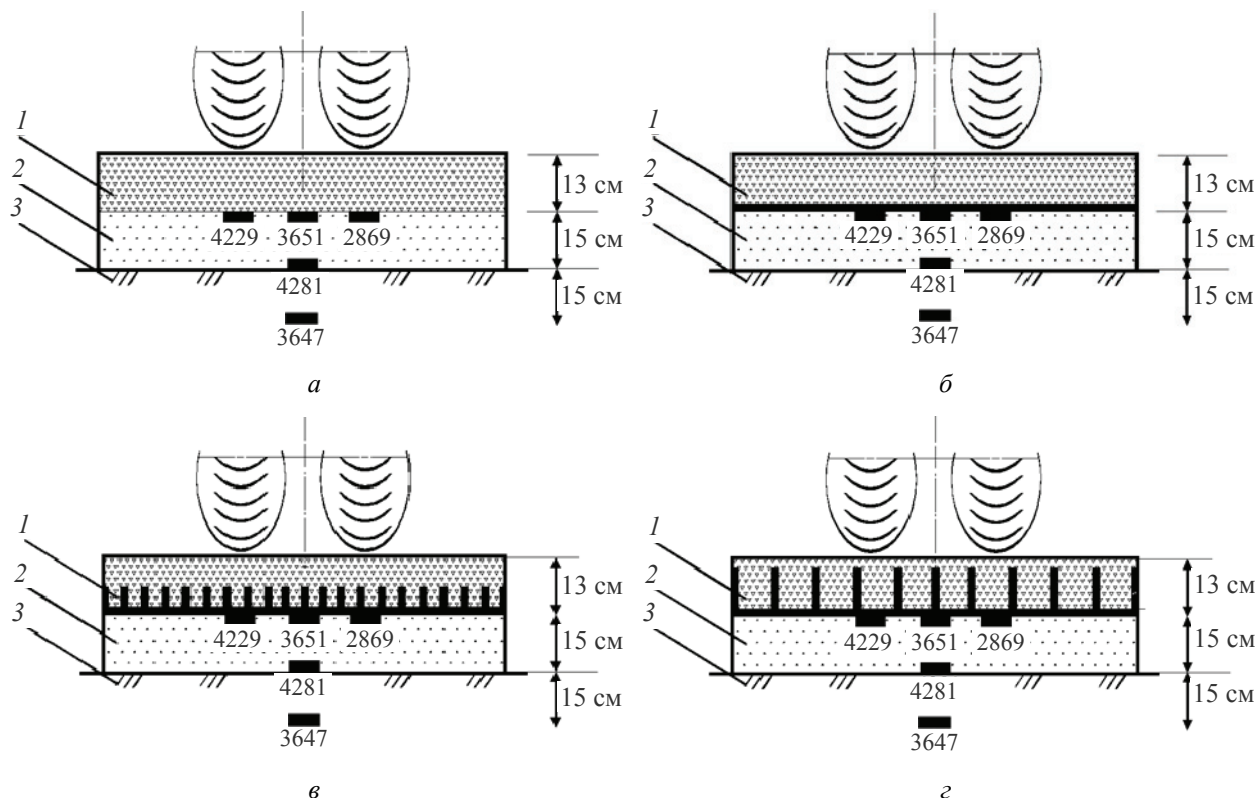


Рис. 6. Схемы испытываемых конструкций:

а – без прослоек; б – с горизонтальной прослойкой; в, г – с горизонтальными и вертикальными прослойками; 1 – песчано-гравийная смесь; 2 – песок; 3 – грунтовое основание



Рис. 7. Общий вид опытного участка

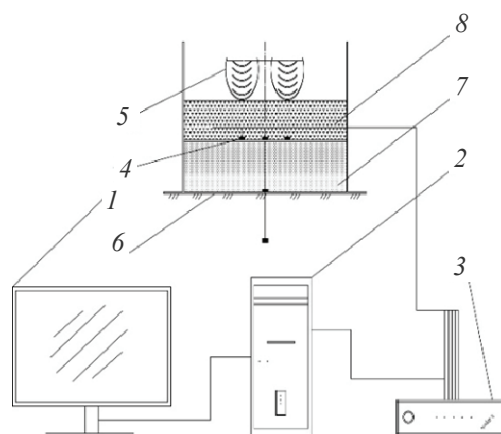


Рис. 8. Схема подключения оборудования:
 1 – монитор; 2 – системный блок; 3 – усилитель Spider 8; 4 – мездозы; 5 – спаренные колеса;
 6 – грунтовое основание; 7 – песок;
 8 – песчано-гравийная смесь

Участок № 1 без прослойки						Участок № 2 с прослойкой					
№ мездозы	3647	4281	3651	4229	2869	№ мездозы	3647	4281	3651	4229	2869
Глубина (см)	43	28	15	15	15	Глубина (см)	43	28	15	15	15
Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	0.0685	0.2883	0.0536	0.3588	0.5228		0.0702	0.33	0.06525	0.4797	0.4069
	0.05311	0.2748	0.0465	0.3484	0.4492		0.055	0.26	0.04762	0.4352	0.3675
	0.0712	0.2958	0.055	0.3721	0.5389		0.0705	0.32	0.06487	0.4519	0.378
	0.064	0.2753	0.0447	0.3471	0.4523		0.0578	0.22	0.0434	0.3806	0.3657
	0.0697	0.2944	0.053	0.3663	0.5425		0.0682	0.35	0.0657	0.4713	0.3937
	0.065	0.2814	0.0417	0.3497	0.4645		0.0613	0.2	0.0468	0.4501	0.323
	0.0695	0.2899	0.0522	0.3763	0.5418		0.0685	0.36	0.06435	0.4676	0.365
	0.0639	0.2803	0.0392	0.333	0.4449		0.0594	0.22	0.0471	0.4581	0.3326
Среднее (МПа)	0.065614	0.285025	0.048238	0.356463	0.494613	Среднее (МПа)	0.063863	0.2825	0.055636	0.449313	0.36655

Участок № 3 с прослойкой (5 на 5 см)						Участок № 4 с прослойкой (10 на 10 см)					
№ мездозы	3647	4281	3651	4229	2869	№ мездозы	3647	4281	3651	4229	2869
Глубина (см)	43	28	15	15	15	Глубина (см)	43	28	15	15	15
Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max	Max
	0.05925	0.288	0.0587	0.3368	0.5399		0.06314	0.2657	0.0429	0.4657	0.5049
	0.0311	0.26	0.0301	0.3184	0.3457		0.0491	0.236	0.0295	0.401	0.335
	0.0585	0.296	0.0495	0.3665	0.5691		0.0682	0.2691	0.0414	0.4727	0.5165
	0.0469	0.247	0.0257	0.3148	0.4132		0.0493	0.2428	0.0246	0.4063	0.3911
	0.0593	0.197	0.03735	0.2745	0.4875		0.0656	0.2768	0.0429	0.4796	0.5042
	0.0449	0.225	0.0195	0.1902	0.3002		0.0426	0.2328	0.0301	0.381	0.3923
	0.0573	0.2753	0.0441	0.3891	0.5604		0.0702	0.2766	0.0416	0.4831	0.5009
	0.0468	0.2545	0.0219	0.3227	0.3992		0.0493	0.2341	0.0306	0.3822	0.3488
Среднее (МПа)	0.050506	0.25535	0.358563	0.314125	0.4519	Среднее (МПа)	0.05718	0.254238	0.03547	0.43395	0.436713

Рис. 9. Результаты испытания участков № 1–4

Заключение. Проведенные исследования показали, что использование комбинированных прослоек оказывает стабилизирующее влияние на распределение напряжений, возникающих по глубине при воздействии подвижной колесной нагрузки транспортных средств. При этом эффективность их применения зависит от многих факторов. Учитывая результаты деформационных испытаний и технико-экономическое

сравнение, для дальнейших производственных испытаний наиболее рационально принять при устройстве лесных автомобильных дорог конструкции комбинированной прослойки с высотой вертикальных полос 10 см с креплением их к горизонтально укладываемой прослойке на таком же расстоянии друг от друга.

Литература

1. Насковец М. Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта. Минск: БГТУ, 2010. 178 с.
2. Насковец М. Т., Дини М. Н. Подвижной состав и автомобильные дороги для вывозки древесины. Основы взаимодействия // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 94–98.
3. Корсунский М. Б. Приближенный метод определения вертикальных смещений дорожной одежды и распределения давлений на подстилающий грунт в условиях пространственной задачи // Исследование прочности дорожных одежд: сб. науч. тр. / Госуд. всесоюз. дорож. НИИ «Союздорнии». М.: Автотрансиздат, 1959. С. 261–299.
4. ОДН 218.1.052–2002. Оценка прочности нежестких дорожных одежд (взамен ВСН 52-89). М.: Минтранс РФ, 2002. 54 с.
5. Насковец М. Т., Жарков Н. И., Дини М. Н. Учет воздействия колесной нагрузки при конструировании лесных автомобильных дорог // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Международной научно-технической конференции, Могилев, 14–15 апреля 2016 г. С. 222–223.
6. Вырко Н. П. Сухопутный транспорт леса. Минск: Вышэйшая школа, 1987. 437 с.
7. Насковец М. Т., Драчиловский А. И., Дини М. Н. Разработка методики сравнительной оценки работоспособности дорожных конструкций под воздействием колесной нагрузки // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 83–86.
8. Keller G., Sherar J. Low-Volume Roads Engineering. Best Management Practices Field Guide. Washington: US Agency for International Development, 2003. P. 30–115.
9. Способ устройства многослойной дорожной конструкции: патент Респ. Беларусь, МПК E01 C3/00/ М. Т. Насковец, А. А. Камейша; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № а 20100210; заявл. 12.02.10; опубл. 30.10.11 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2011. № 5. С. 28.
10. Тюрин В. И. Вопросы применения геосинтетических материалов в дорожных конструкциях при проектировании автомобильных дорог // Дороги. Инновации в строительстве. 2011. № 7. С. 22–27.
11. Способ устройства одежд лесных дорог колеинового типа: патент Респ. Беларусь, МПК E01 C3/00/ М. Т. Насковец, И. И. Невестенко; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № а 20081308; заявл. 17.10.08; опубл. 30.06.10 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2010. № 3. С. 20.
12. Способ возведения дорожной одежды: патент Респ. Беларусь, МПК E02D 3/00 E02D5/00 // М. Т. Насковец, Г. С. Корин, Р. О. Короленя; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № а 20051249; заявл. 15.12.05; опубл. 30.08.07 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2007. № 4. С. 33.
13. Насковец М. Т., Драчиловский А. И., Дини М. Н. Взаимодействие насыпей лесных автомобильных дорог, содержащих упрочняющие прослойки с торфяными основаниями // Вестник СибАДИ. Вып. 6 (46). 2015. С. 71–75.
14. Способ возведения дорожного покрытия и устройство для его осуществления: патент СССР, SU 1791508 A1, E01C21/00 // Н. П. Вырко, М. Т. Насковец, Л. Г. Громько; заявитель Белорус. технол. ин-т им. С. М. Кирова. № 4932001/33; заявл. 30.04.91; опубл. 30.01.93 // Бюл. № 4 / Гос. комитет по изобретениям и открытиям при ГКНТ СССР. 1993. С. 103.
15. Способ устройства дорожной покрытия. Заявка на патент. Республика Беларусь / М. Т. Насковец, М. Н. Дини; заявитель Белорус. гос. технол. ун-т. № 20160341; заявл. 16.09.16.

References

1. Naskovets M. T. *Transportnoye osvoenie lesov Belarusi i komponenty lesotransporta* [Transport Belarus development of forests and forest transport components]. Minsk, BGTU Publ., 2010. 178 p.
2. Naskovets M. T., Dini M. N. Rolling stock and roads for wood removals based on interaction. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 94–98 (In Russian).
3. Korsunskiy M. B. An approximate method for determining the vertical displacements of the pavement and the pressure distribution in the subsoil in condition dimensional tasks. *Issledovaniye prochnosti dorozhnykh odezhd: sb. nauch. tr.* [Research strength pavements: proceedings]. Moscow, Avtotransizdat Publ., 1959, pp. 261–299 (In Russian).
4. ODN 218.1.052-2002. Evaluation of the strength of non-rigid pavements (instead VSN 52-89). Moscow, Ministry of Transport of the Russian Federation Publ., 2002. 54 p. (In Russian).
5. Naskovets M. T., Zharkov N. I., Dini M. N. Accounting wheel impact load in the construction of forest roads. *Materialy, oborudovaniye i resursosberegayushchiye tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Materials, equipment and resource saving technologies: proceedings of the International scientific and technical conference], Mogilev, 2016, pp. 222–223 (In Russian).

6. Vyrko N. P. *Sukhoputnyy transport lesa* [Over land transport timber]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1987. 437 p.
7. Naskovets M. T., Drachilovsky A. I., Dini M. N. Development of a technique of comparative performance working methods of comparative performance evaluation of road construction under the influence of wheel load. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 83–86 (In Russian).
8. Keller G., Sherar J. *Low-Volume Roads Engineering Best Management Practices Field Guide*. Washington, US Agency for International Development, 2003, pp. 30–115.
9. Naskovets M. T., Kameysha A. A. *Sposob ustroystva mnogosloynoy dorozhnoy konstruksii* [The method of the multilayer structure of the construction road]. Patent BY, IPC E01 C, 3/00/; no. a 20100210; 2011.
10. Tyurin V. I. Questions of application of geosynthetic materials in road constructions in the design of roads. *Dorogi. Innovatsii v stroitel'stve* [Road. Innovations in construction], 2011, no. 7, pp. 22–27 (In Russian).
11. Naskovets M. T., Nevestenko I. I. *Sposob ustroystva odezhd lesnykh dorog koleynogo tipa* [Method devices pavement forest road rut type]. Patent BY, IPC E01 C, 3/00/; no. a 20081308; 2010.
12. Naskovets M. T., Korin G. S., Korolenya P. O. *Sposob vozvedeniya dorozhnoy odezhdy* [A method of construction of pavement]. Patent. BY, IPC E02D 3/00, E02D5/00//; no. a 20051249; 2007.
13. Naskovets M. T., Drachilovsky A. I., Dini M. N. Theory of interaction mound forest automobile roads, containing reinforcing interlayer with peat grounds. *Vestnik SibADI* [News of SibADI], issue 6 (46), 2015, pp. 71–75 (In Russian).
14. Vyrko N. P., Naskovets M. T., Gromyko L. G. *Sposob vozvedeniya dorozhnogo pokrytiya i ustroystvo dlya ego osushchestvleniya* [Method of construction of the road surface and a device for its implementation]. Patent USSR, SU 1791508 A1, E01C21 / 00 //; no. 4932001/33; 1993.
15. Naskovets M. T., Dini M. N. *Sposob ustroystva dorozhnogo pokrytiya* [The method of road pavements], application for a patent BY, no. 20160341, 2016.

Информация об авторах

Насковец Михаил Трофимович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: naskovets@belstu.by

Дини Мортеза Носрат – аспирант кафедры лесных дорог и организации вывозки древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: morteza.dini65@gmail.com

Information about the authors

Naskovets Michael Trofimovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, Head of the Department of Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: naskovets@belstu.by

Dini Morteza Nosrat – PhD student of the Department Forest Roads and Timber Transportation. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: morteza.dini65@gmail.com

Поступила 15.11.2016

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

УДК 621.3.029.6:674.8

В. И. Врублевская, В. В. Кузнецова, М. В. Аникеева
Белорусский государственный университет транспорта

ОБЛАСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ СКОЛЬЖЕНИЯ ИЗ НАТУРАЛЬНОЙ И ПРЕССОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В статье приведен обзор по применению подшипников скольжения (ПС) в морском и подводном флоте из натуральной, самой плотной на планете древесины бакаута. Первые ПС в древности использовались в тележках, различном колесном транспорте. После появления парусников и пароходов подшипники скольжения стали интенсивно эксплуатироваться в судостроении. Описаны дейдвудные подшипники валов гребных винтов морских судов дальнего плавания и подлодок. Рассмотрены особенности применения подшипников скольжения в военно-морском флоте и для турбин гидроэлектростанций. Выявлены главные преимущества бакаутowych подшипников скольжения перед ПС из других антифрикционных материалов. Представлена основная продукция фирмы «Woodex», выпускающей подшипники скольжения из горного клена. Описаны способы повышения механических свойств древесины прессованием местных пород в Беларуси и России и различные варианты изготовления из нее ПС. Приведена сравнительная характеристика физико-механических свойств натуральной древесины бакаута и прессованной древесины березы. Отмечена новая энерго-, ресурсосберегающая технология изготовления подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессовым деформированием (ПСС ТПД) древесных карточек во вкладыш и полуавтоматы для их производства. Показаны конструкции подшипников скольжения, разработанные в Белорусском государственном университете транспорта. Описаны механизмы и их узлы трения, работающие в абразивно-агрессивных средах, в которых испытаны и внедрены ПСС ТПД.

Ключевые слова: натуральная древесина бакаут, дейдвудные подшипники скольжения, торцово-прессовое деформирование, механические свойства, ресурсосбережение.

V. I. Vrublevskaya, V. V. Kyznetsova, M. V. Anikayeva
Belarusian State University of Transport

APPLICATION OF PLAIN BEARINGS FROM NATURAL AND PRESSED WOOD

The overview about of the application of plain bearings from the world densest wood lignum vitae is provided in article. The first plain bearings were used in trucks, in various wheeled transport in ancient time. Plain bearings have been intensively exploited in shipbuilding after the emergence of sailing vessels and steamships. Stern shaft bearings propellers of ships and deep-water submarines are described. The features of the use of plain bearings for turbines of hydroelectric power and navy force are identified. We describe the main advantages of plain bearings from lignum vitae as compared to the plain bearings from other antifriction materials. The main products of the company Woodex, which produces plain bearings from mountain maple, are shown. Methods of increasing of the mechanical properties of wood by the compression of local species of wood in Belarus and Russia and various making options for plain bearings are described. The comparative characteristic of physical-mechanical properties of natural wood of lignum vitae and pressed birch wood is provided. A new energy-, resourcesaving technology of manufacturing self-lubricating plain bearings by butt-pressing deformation cards in sleeve and semiautomats for their production is observed. The constructions of plain bearings developed at the Belarusian State University of Transport are illustrated. Mechanism and their friction units containing self-lubricating plain bearings with butt-pressing deformation of the sleeve, which working in abrasive aggressive substance are described.

Key words: natural wood lignum vitae, stern shaft plain bearings, butt-pressing deformation, mechanical properties, resourcesaving.

Введение. Древесина – самый первый материал на планете, из которого были изготовлены подшипники скольжения. Благодаря высоким физико-механическим характеристикам древесина бакаут использовалась для изготовления вкладышей ПС. Однако бакаут – редкая, дорогостоящая порода, которая на сегодняшний день является дефицитной.

В России и Республике Беларусь разработана технология прессования древесины местных пород. В качестве материала была выбрана широко распространенная древесина березы, которая после прессования и модифицирования не уступает по механическим свойствам натуральному бакауту.

В статье рассмотрена история применения подшипников скольжения из натуральной древесины бакаута и ее аналога из прессованной древесины.

Основная часть. Первые подшипники скольжения, эксплуатируемые в колесных транспортных средствах, были выполнены из натуральной древесины, которая смазывалась животным жиром. Они также устанавливались на рулевых валах морских парусников, а когда изобрели пароходы, то карданный вал их вращался в деревянных подшипниках.

Основным материалом для изготовления подшипников служил бакаут. Это вечнозеленое дерево произрастает на Вест-Индских островах, Кубе, Гаити, Ямайке, Багамских островах, в Гватемале и Гондурасе. Бакаут – самая плотная, твердая, влаго- и солестойкая древесина в мире («железное дерево», так как тонет в воде) [1]. Содержание в нем натурального масла гваякум позволяет ПС работать на самосмазке. Неудивительно, что именно бакаутные подшипники получили такое широкое распространение.

Бакаут является одной из самых дорогих пород древесины, так как в настоящее время вырубку его практически остановлены.

Его используют для изготовления точнейших бесшумных самосмазывающихся подшипников подводных лодок и кораблей.

Подшипники скольжения из бакаута стали повсеместно использоваться на атомном подводном флоте и гидроэлектростанциях (рис. 1–3) [2–3]. Внутренний диаметр их достигает 600 мм, а длина – 2500 мм и более.

На первой в мире атомной подводной лодке USS Nautilus работали бакаутные дейдвудные подшипники (рис. 2).

Дейдвудные подшипники скольжения служат опорой для гребного вала дейдвудных устройств. Дейдвудные подшипники качения хоть и имеют ряд преимуществ (высокий коэффициент полезного действия и долговечность), однако им присущи значительные недостатки,

а именно: большие радиальные размеры дейдвуда, сложность изготовления нестандартных роликподшипников и, главное, сложность обеспечения герметичности подшипников. Поэтому в дейдвудных устройствах они не получили применения.

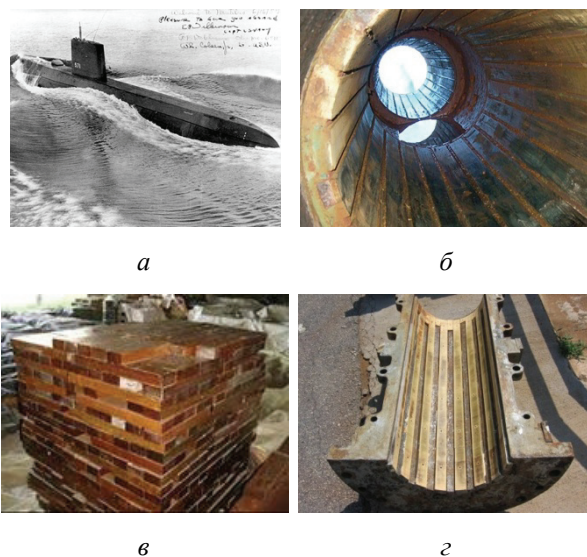


Рис. 1. Подлодка (а), подшипник гребного вала (б), заготовки для набора подшипника (в), полувкладыш (г)

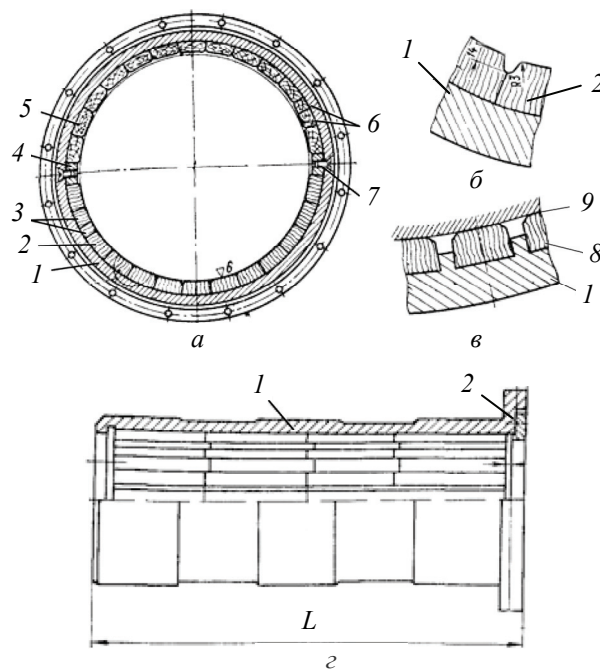
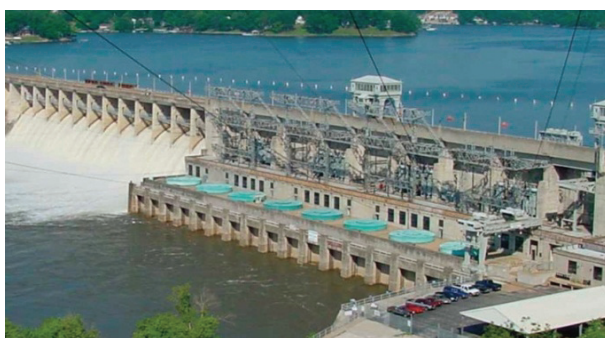
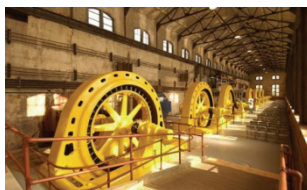


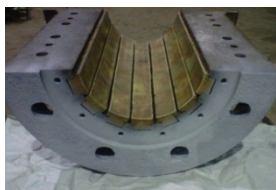
Рис. 2. Подшипник с набором из вкладышей бакаута (а – поперечный, г – продольный разрезы): 1 – дейдвудная втулка; 2, 3, 5, 6 – торцевой и долевой бакаутные и клиновые вкладыши соответственно; 4 – упорная планка; 7 – винт; 8 – бакаутные вкладыши; 9 – облицовка гребного вала. Схемы набора подшипников: б – «бочка»; в – «ласточкин хвост»



а



б



в

Рис. 3. Гидроэлектростанция (а), турбина (б), полувкладыш для турбины (в)

Нижние вкладыши дейдвудного подшипника скольжения, на которые опирается вал, набирают с торцевым расположением волокон, а верхние – с продольным.

При использовании кряжей диаметром менее 200 мм вкладыши с торцевым расположением волокон на рабочей поверхности получают очень короткими. Применение же вкладышей с долевым расположением волокон не рекомендуется, так как износостойкость бакаута в этом случае в 2–3 раза меньше.

Обычно бакаут набирают в дейдвудные втулки по схеме «бочка» (рис. 2, б) или «ласточкин хвост» (рис. 2, в). Последний прочнее набора по схеме «бочка». Однако из-за уменьшения активной поверхности трения значительно увеличивается нагрузка на бакаут и создаются благоприятные условия для заноса на трущиеся поверхности абразива. Набор по схеме «ласточкин хвост» на транспортных судах не получил распространения.

Так как бакаут является для большинства стран предметом ввоза, то был разработан и внедрен широкий ассортимент его заменителей: древесно-слоистые пластики, текстолиты, резинометаллические, резиноэбонитовые, термопластические материалы (капрографит, капролон) и др. В настоящее время в связи с созданием надежных уплотнений начали широко внедряться дейдвудные металлические подшипники с масляной смазкой под давлением. Однако ни один из них по работоспособности не превзошел ПС из бакаута, которые являются самосмазывающимися, выдерживают высокую ударную нагрузку, имеют низкий коэффициент

трения в речной и соленой воде, простоту установки [4, 5].

ПС из бакаута используются и в опорах вала гребного винта пароходов военно-морского флота США, Германии, Японии, и в обычных морских судах дальнего плавания.

С 1984 года в России начали строить подлодки проекта 636 «Варшавянка». Первая подлодка этого класса была направлена в десяти-месячный океанский поход.

В интересах снижения заметности подлодки все ее оборудование обеспечивается средствами шумопоглощения, а главный вал лодки вращается на втулках, изготовленных из бакаута.

165-летняя история создания самых мощных кораблей и подводных лодок показала, что попытки заменить подшипники из бакаута различными композиционными и металлическими материалами (бронзой, баббитом) не привели к успеху [6].

Начиная с 1910-х годов, подшипники из бакаута использовали и для турбин гидроэлектростанций (рис. 3) [7].

В 1914 году одна из гидроэлектростанций на юго-востоке США была запущена с подшипниками из бакаута, которые проработали вплоть до 1980 года. Завод перешел на использование подшипников из композиционного материала. Несмотря на то что они были выполнены на высшем уровне, ресурс их работы составил только половину ресурса работы подшипников из бакаута. Основываясь на данном опыте, бакаутные подшипники были вновь возвращены на гидроэлектростанцию.

Во время Первой и Второй мировых войн достаточно большое количество древесины уходило на нужды военно-морских флотов различных стран, что привело к снижению использования подшипников из бакаута на ГЭС.

На многих электростанциях подшипники из бакаута проработали более 50–60 лет, после чего были замены на подшипники из металла или из композиционных материалов.

Из всех видов древесины в мире бакаут является единственным материалом, который обладает необходимыми свойствами для работы в таких сложных условиях, как морская соленая вода. Бакаутные подшипники являются экологически чистыми, не загрязняют окружающую среду, максимизируют время бесперебойной работы в соленой воде, не стареют, долговечны и имеют уникальные амортизирующие свойства.

С 1906 года и по настоящее время в Америке компания «Woodex» является лидером в области производства подшипников из натуральной древесины.

Фирма «Woodex» разработала различные конструкции подшипников скольжения из бакаута,

которые интенсивно использовались в узлах трения транспортного оборудования, сельскохозяйственных машин, механизмов и пр. (рис. 4) [8].

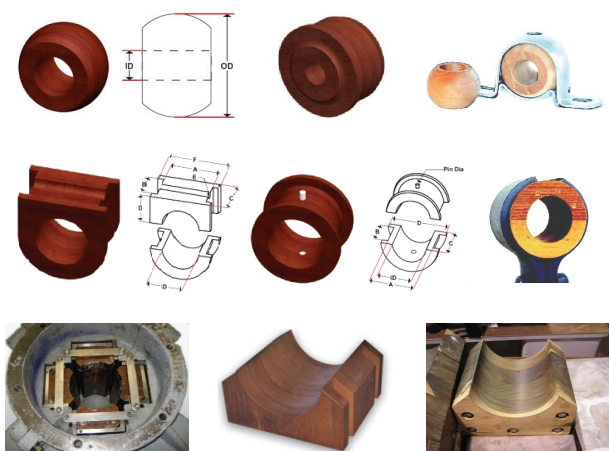


Рис. 4. Подшипники скольжения, выпускаемые компанией «Woodex»

В настоящее время альтернативу бакауту представляет горный клен, пропитанный вазелиновым воском и обеспечивающий большой срок службы при высокой температуре без чрезмерного износа.

Подшипники производятся стандартных размеров и пользовательские модели выполнены практически для любого диаметра вала.

За свою долгую историю ПС из горного клена зарекомендовали себя с наилучшей стороны, а факты их внедрения на производстве имеют документальное подтверждение.

О применении подшипников скольжения из прессованной древесины. Проблема экономии материальных и энергетических ресурсов в Республике Беларусь приобрела особую актуальность. Поэтому многие предприятия заинтересованы во внедрении недорогих, но качественных и долговечных деталей для узлов трения. Такими являются подшипники скольжения на основе природного композиционного материала – уплотненной древесины одноосным прессованием (ДП-О) (рис. 5, а–д).

С целью придания в подшипниках стабильности размеров брусков из ДП-О разработаны различные способы закрепления их в корпусе таким образом, чтобы волокна были направлены по радиусу.

Их применение за счет снижения затрат на обслуживание по сравнению с ПС из традиционных металлических, полимерных материалов, подшипников качения приводит к улучшению технико-экономических показателей машин и механизмов, особенно эксплуатирующихся в абразивно-агрессивных и влажных средах.

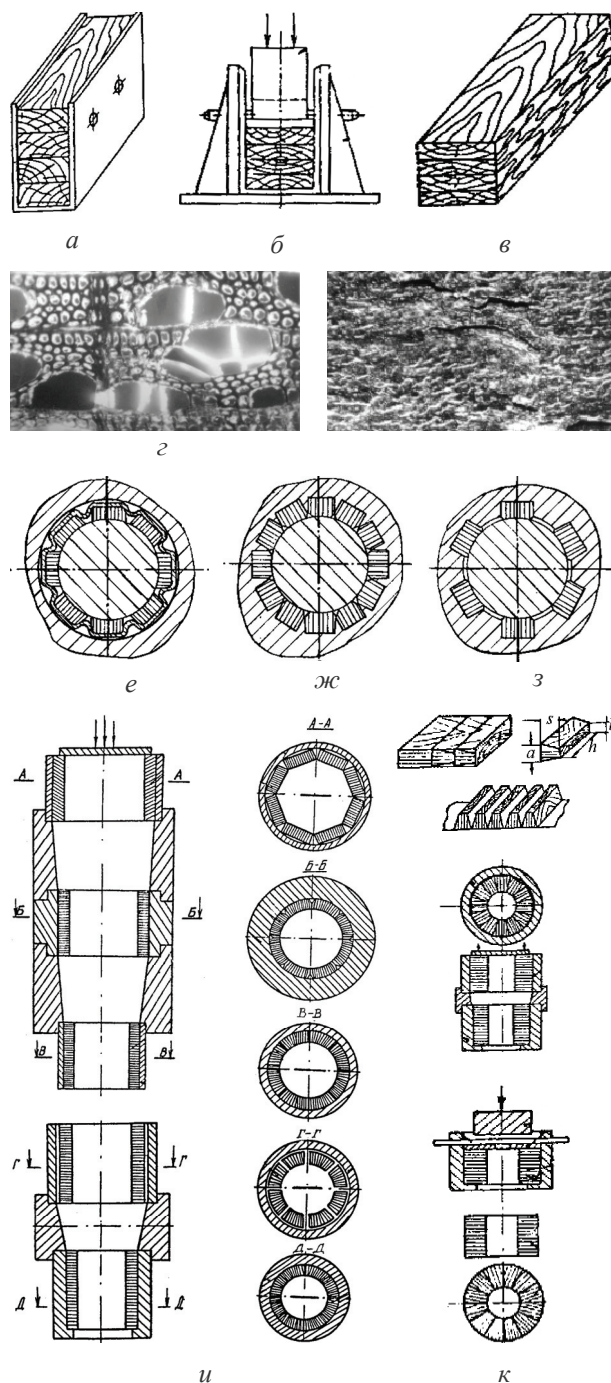


Рис. 5. Кассета (а), пресс-форма (б), прессованная заготовка (в), микроструктуры торцевого среза древесины до (д) и после (д) прессования (ув. 350×), наборные подшипники с прямоугольными брусками: запрессованными в пазы металлической обоймы (е, ж); собранные в тонкостенном металлическом сепараторе, запрессованном в посадочное место ступицы (з). Устройства для получения ПС вкладышей из брусков ДП-О прямоугольных (и) и трапециевидных (к)

Однако до последнего времени подшипники скольжения из прессованной древесины ДП-О не нашли широкого применения из-за сложности конструктивного исполнения, металлоем-

кости оснастки, низкой производительности технологических процессов изготовления и большой трудоемкости их производства (рис. 5, е–ж). Существуют и другие способы изготовления подшипников скольжения самосмазывающихся (ПСС) из прессованной древесины, которые описаны в монографиях [9, 10].

В Белорусском государственном университете транспорта разработана новая высокопроизводительная технология изготовления подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессовым деформированием (ПСС ТПД) древесных карточек во вкладыш, сконструированы и изготовлены полуавтоматы для их производства (рис. 6) [9–12]. Аналогов им в мире нет.

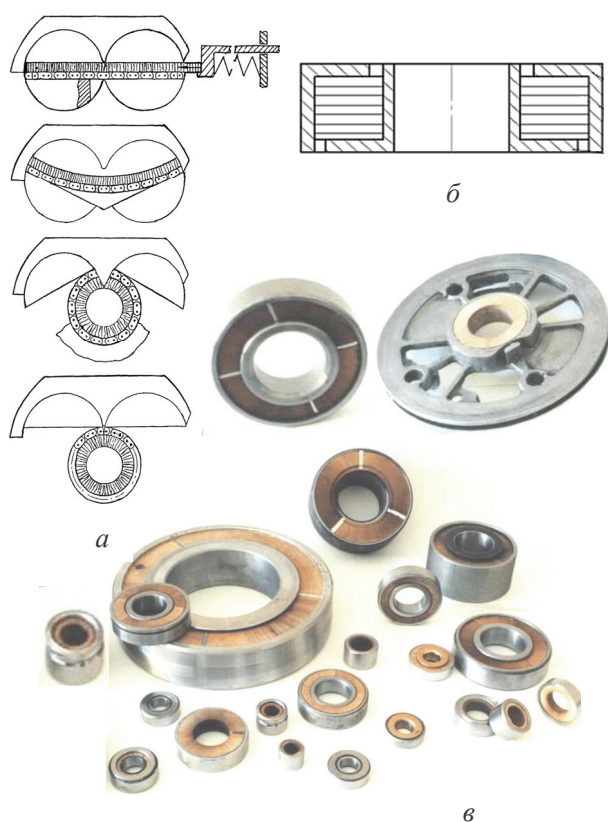


Рис. 6. Узел полуавтомата торцово-прессового деформирования древесных карточек (а), схема подшипника скольжения с вкладышем ТПД (б), фотографии ПСС ТПД, испытанных в узлах трения различных машин и механизмов (в)

В качестве базовой породы древесины была выбрана древесина березы, которая по запасам занимает 2-е место после сосны [13]. По строению древесина березы схожа с древесиной бакаута.

При уплотнении на $\epsilon = 50\%$ она по своим механическим свойствам имеет такие же показатели, как и бакаут (таблица).

Специфичные свойства бакаута обусловлены расположением волокон и содержанием

гваяковой смолы, обеспечивающий его работу на самосмазке. Прессованная древесина березы, пропитанная смазочным материалом, также работает в режиме самосмазки.

Физико-механические свойства бакаута и прессованной древесины березы

Показатели	Природный композиционный материал	
	бакаут	прессованная древесина
Плотность, кг/м ³	1170–1200	1120
Твердость, МПа	152	147
Предел прочности при сжатии вдоль волокон $\sigma_{сж}$, МПа	72,5	107,7

Разработанные ПСС ТПД прошли широкую опытную промышленную проверку в узлах трения различных машин и механизмов: ленточных транспортеров, элеваторов, шнековых транспортеров, различных подъемников, навозоудаляющих транспортеров, дискаторов и т. д.

Ленточный конвейер. Является широко распространенным механизмом непрерывного действия, предназначенным для перемещения сыпучих и штучных грузов.

В зависимости от формы поперечного сечения ленты поддерживающие ее роликоопоры могут быть прямыми и желобчатыми, образованными двумя, тремя и более роликами.

Из более чем полумиллиона эксплуатирующихся конвейерных установок до 90% составляют ленточные конвейеры. С помощью ленточных конвейеров можно транспортировать сыпучие грузы на расстояния, превышающие 100 км.

Большинство случаев отказов оборудования приходится на трущиеся сопряжения, в особенности на подшипники качения.

Замена износившихся подшипников требует длительной остановки машины в целом или ее отдельных узлов, что приводит к прекращению технологического процесса. Поэтому создание новых конструкций износостойких подшипниковых узлов трения является важным вопросом для повышения их долговечности. На рис. 7 изображены конструкции узлов трения серийно изготавливаемого ролика ленточного транспортера и разработанного в БелГУТе.

Как видно из рис. 7, разработанная конструкция позволяет значительно упростить узел трения и исключить из него фиксирующее кольцо 1, уплотнения 2, 5, 7, импортный шарикоподшипник 4, масленку 8, фиксатор 10.

Узел трения, состоящий из названных деталей, заменяется одним самосмазывающимся подшипником скольжения, вследствие чего

экономятся десятки тонн черных металлов и тысячи импортных подшипников качения.

Срок службы узлов с ПСС при работе в режиме самосмазки в 2,5 и более раз превышает срок службы узлов с шарикоподшипниками, которые регулярно смазывались через 2–3 недели.

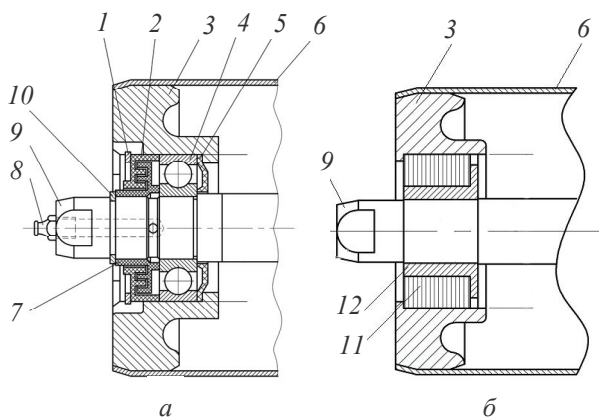


Рис. 7. Ролик ленточного транспортера с ПК (а) и с ПСС (б):

- 1 – фиксирующее кольцо; 2, 5, 7 – уплотнение;
3 – корпус подшипника; 4 – подшипник качения;
6 – корпус ролика (труба); 8 – масленка;
9 – вал; 10 – фиксатор; 11 – ПСС ТПД;
12 – внутренне кольцо ПСС

Транспортер передвижной шнековый ТПШ-1М. Шнековые транспортеры широко используются на предприятиях сельского хозяйства и перерабатывающего комплекса для перемещения сыпучих грузов (зерно, крупа, зерноотходы) при погрузочно-разгрузочных работах (рис. 8, а).

Одними из самых уязвимых частей транспортирующих машин являются узлы трения, которые работают в агрессивно-абразивных средах, в условиях переменной влажности, повышенной запыленности продуктами помола. Тяжелый нагрузочный режим работы приводит к интенсивному износу, коррозии и заклиниванию подшипников качения или подшипников скольжения из цветных металлов.

В промежуточных опорах секций шнека устанавливают шарикоподшипники радиальные сферические двухрядные ПК-1206 (рис. 8, в), которые требуют постоянного технического обслуживания: смазывания жировым солидолом через каждые 10 дней через масленки 5 на фланцах кожуха. Практика эксплуатации ТПШ-1М свидетельствует о частом их заклинивании и интенсивном изнашивании. Смазывание жировым солидолом, несмотря на рекомендации разработчиков транспортера, сокращает межремонтный период узлов трения.

Смазка впитывает абразив (зерновую пыль), вследствие чего сильно загущается и вызывает

заклинивание подшипника качения. Постановка бронзовых подшипников скольжения также не решила проблему обеспечения надежности работы оборудования. Они быстро изнашиваются с образованием люфта.

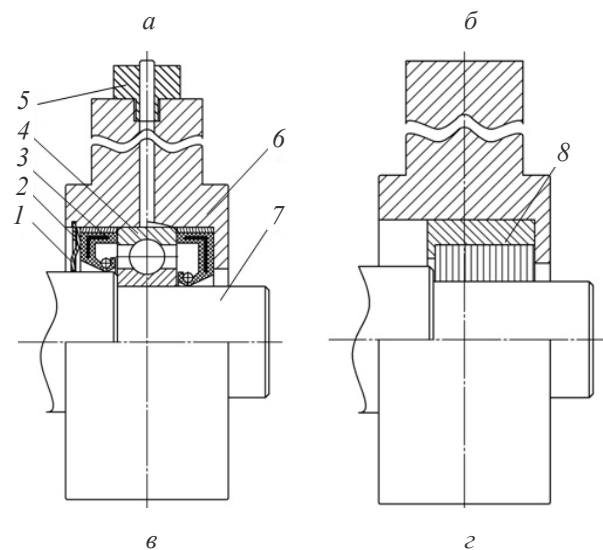


Рис. 8. Общий вид (а), ПСС ТПД (б) транспортера передвижного шнекового ТПШ-1М и схема узла трения с ПК (в) и с ПСС (г):
1 – крышка; 2 – стопорное кольцо; 3 – манжета резиновая; 4 – ПК-1206; 5 – масленка;
6 – корпус подшипника; 7 – вал; 8 – ПСС ТПД

Ремонт ТПШ-1М неизбежно связан с его разборкой и приостановкой погрузочно-разгрузочных работ, что влечет дополнительные материальные затраты. Срок службы подшипников качения или подшипников скольжения из бронзы не превышал 1,5–2 месяца.

Для обеспечения надежности работы узлов трения промежуточных опор шнекового транспортера и увеличения ресурса было предложено взамен ПК-1206 установить взаимозаменяемый ПСС (рис. 8, б). Частота вращения шнека 480 об/мин (скорость скольжения контактной поверхности ПСС $v = 0,75$ м/с).

Результаты опытно-промышленной проверки ПСС в узлах трения шнековых транспортеров на ОАО «Гомельхлебопродукт» взамен ПК-1206 показали увеличение срока эксплуатации до 5 лет. Экономический эффект от внедрения ПСС в узлы трения шнекового транспортера составил 847 у. е. При этом учитывалось количество рабочих дней в году, частота

замены подшипников качения, стоимость ремонтов, связанных с заменой ПК, затраты на покупку, простой, время ремонта, часовая ставка слесаря и др.

Эlevator для подачи песка в сушильные барабаны (рис. 9). На ОАО «Гомельстекло» эlevator подает песок в сушильные барабаны. Узел трения нижней головки его постоянно работает в абразивной среде (песок), в которой чугунные втулки наружным диаметром 100 мм, внутренним 45 мм, длиной 70 мм изнашиваются в течение 2–5 суток при трехсменной работе, после чего производится демонтаж изношенных и монтаж новых чугунных втулок. Трудоемкость монтажа и демонтажа составляет 4 ч, а расход зарплат – 3,7 у. е. Втулка изготавливается из мелкозернистого чугуна массой 4 кг. Себестоимость изготовления втулки составляет 1 у. е.

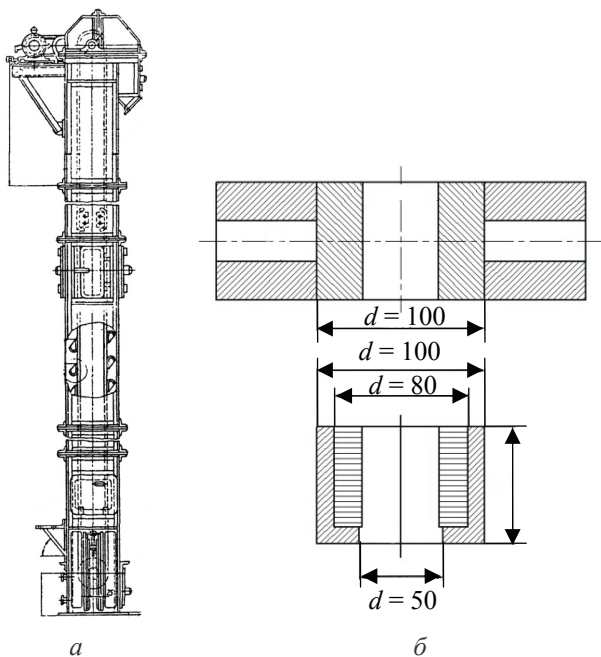


Рис. 9. Эlevator (а) для подачи песка в сушильные барабаны и самосмазывающийся подшипник скольжения (б) нижней головки элеватора

Взамен этих втулок были установлены ПСС на эксплуатационные испытания. В течение года они оставались работоспособными в режиме самосмазки, не требовали теххода. С чугунной втулкой в течение этого периода необходимо было бы производить демонтаж и монтаж узла трения 50–60 раз, а общая трудоемкость составила бы 200–240 чел.-ч, расход зарплат – 185 у. е. Кроме того, на одном узле в течение этого периода работы сэкономлено 200 кг чугуна; отпали затраты на изготовление этих втулок на сумму 50 у. е. Общая экономия составила 236 у. е. [14].

Подшипники скольжения самосмазывающиеся (рис. 10) испытывались в узлах трения подъемников фирмы «ESKA» (Германия) взамен подшипников скольжения из композиционного материала. В течение испытаний ПСС никаких технических проблем не возникало, и по сроку службы они в 2–3 раза превосходили импортные подшипники скольжения.

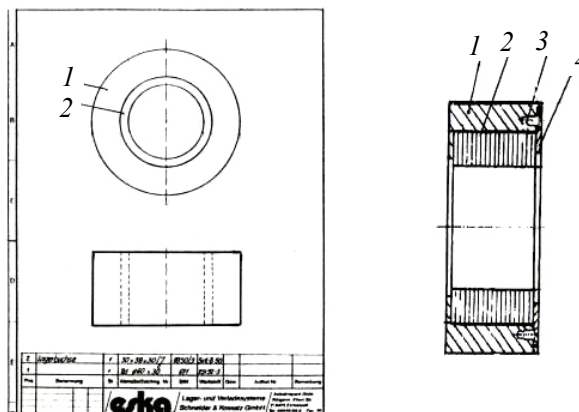


Рис. 10. Самосмазывающийся подшипник скольжения для подъемника фирмы «ESKA»: 1 – корпус; 2 – деревянная втулка торцевого гнущя; 3 – винт; 4 – крышка

ПСС прошли государственные испытания на белорусской государственной сельскохозяйственной машиноиспытательной станции (пос. Привольное) в узлах трения звездочек транспортеров ТСН-160А для удаления навоза на фермах крупного рогатого скота. По результатам успешных испытаний ПСС Белорусская МИС рекомендовала их к внедрению вместо закрытых шарикоподшипников 180308.

ПСС ТПД были испытаны и внедрены в узлах трения других сельскохозяйственных машинах: в сеялках, картофелекопалках, травяных жатках, дисковых боронах и др.

Исследования ПСС ТПД проводились в сравнении с ПС из баббита и полиамида (рис. 11) [15].

Сопоставление результатов испытаний показало, что коэффициент трения у ПСС в 11 раз ниже, чем у полиамида, и в 8 раз ниже, чем у баббита, а ресурс работы при одинаковых условиях испытания превысил 5–7 раз.

По свойствам ПСС ТПД превосходят традиционные антифрикционные материалы, не размягчаются, как полимеры, при температурах свыше 130°C и не теряют размерной стабильности при предельных температурах трения 170–180°C. Смазка в процессе трения выделяется из полостей капилляров и образует граничные смазочные слои на контактных поверхностях, обеспечивая работу ПСС в режиме самосмазки в течение всего периода эксплуатации.

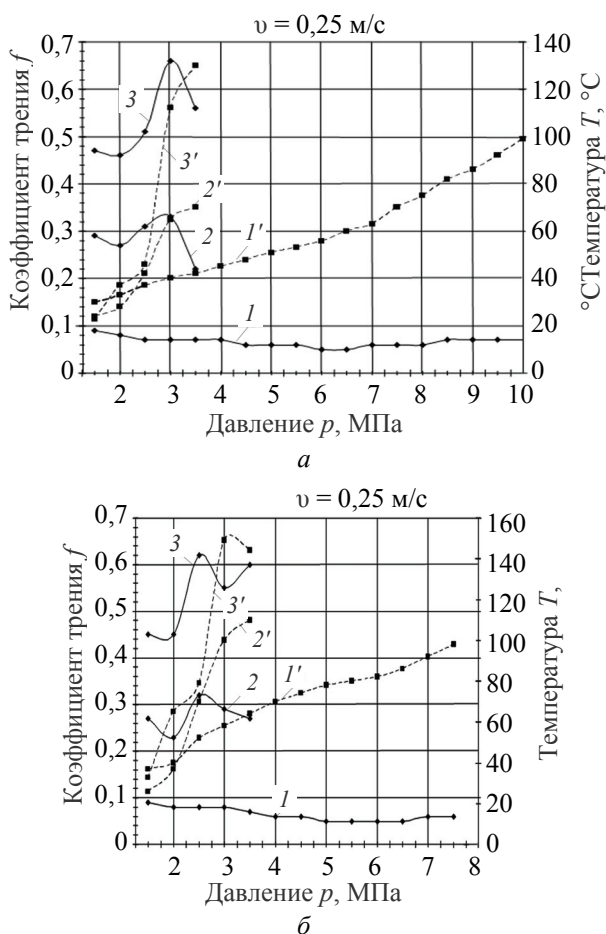


Рис. 11. Зависимости коэффициента трения $1, 2, 3$ и температуры $1', 2', 3'$ от давления при скоростях скольжения: $a - v = 0,25$ м/с; $b - v = 0,5$ м/с; $1, 1'$ – ПСС; $2, 2'$ – баббит; $3, 3'$ – полиамид

В результате триботехнических испытаний установлено, что подшипники ПСС при данных режимах нагружения работают без износа контактных поверхностей и являются необслуживаемыми.

Закключение. Прессованная древесина березы, пропитанная смазкой, модифицированной высокомолекулярными соединениями, является отличным антифрикционным материалом, сравнительным с бакаутом.

У разработанных подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессового деформирования отсутствует износ сопряженного с ним вала.

Они стабильно работают при давлениях p до 10 МПа и скоростях скольжения v до 1,5 м/с. При этом предельное значение фактора pv не должно превышать $3,5$ МПа · м/с.

ПСС ТПД надежно эксплуатируются на самосмазке в абразивно-агрессивных и влажных средах, бесшумны, не корродируют, не заклинивают, по сроку службы в 2,5–10, а иногда и в 25–50 раз превышают аналоги из бронзы, баббита, чугуна, полимеров и подшипники качения (ПК), а затраты на их производство в 1,5–2 раза ниже существующих.

Практически ПСС могут эксплуатироваться во всех отраслях промышленности. Однако производители, не зная о применении натуральной древесины в подводном атомном флоте, субмаринах, турбинах гидроэлектростанций, а также технологий изготовления подшипников скольжения самосмазывающихся из прессованной древесины, скептически и с недоверием относятся ко всему новому и передовому, не желая его внедрять.

Литература

1. Породы дерева [Электронный ресурс] // Мастерская Александра Анистратова [сайт]. URL: <http://pipesland.ru/studio/materials/wood/> (дата обращения 13.10.2016).
2. Rain N. Lignum Vitae: Wood So Bad-Ass, It's Used to Make Shaft Bearings for Nuclear Submarines (and More) // Library Core77. 2013. URL: <http://www.core77.com/posts/25224/> (accessed: 11.10.2016).
3. Bearings & Seals: Wood Makes a Comeback for Hydroelectric Turbine Bearing Applications [Electronic resource]. URL: <http://www.hydroworld.com/articles/hr/print/volume-32/issue-4/cover-story/bearings-seals-wood-makes-a-comeback-for-hydroelectric-turbin.html> (accessed: 22.09.2016).
4. Балацкий Л. Т., Бегагоен Т. Н. Дейдвудные устройства морских судов: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1980. 192 с.
5. Рубин М. Б., Бахарева В. Е. Подшипники в судовой технике: справочник. Л.: Судостроение, 1987. 344 с.
6. Stern Tube bearings [Electronic resource]. URL: <http://www.lignum-vitae-bearings.com/WPages/wood-bearing/attachment/lignum-vitae-stern-tube-bearings/> (accessed: 24.08.2016).
7. Hydro power [Electronic resource]. URL: <http://www.lignum-vitae-bearing.com/Industries/hydro-power/> (accessed: 01.10.2016).
8. Hydro turbine bearing [Electronic resource]. URL: <http://www.woodexbearings.com/> (accessed: 25.08.2016).
9. Врублевская В. И., Невзорова А. Б., Врублевский В. Б. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. Гомель: БелГУТ, 2000. 324 с.
10. Невзорова А. Б., Врублевский В. Б., Матусевич В. О., Врублевская В. И. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика): монография. Гомель: БелГУТ, 2011. 254 с.

11. Врублевский В. Б. Исследование процесса торцово-прессового деформирования древесины и создание высокопроизводительного оборудования для изготовления из нее подшипников скольжения: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2002. 20 с.

12. Полуавтомат для торцово-прессового деформирования древесных заготовок. Евразийский патент № 022215 / Невзорова А. Б., Врублевский Н. В., Врублевская В. И., Гафт Г. А., Журавлев Ю. А. Заявл. 21.08.2012; опублик. 30.11.2015 // Бюл. № 11 / Евраз. пат. ведомство. 5 с.

13. Лесной фонд [Электронный ресурс] / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. URL: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (дата обращения: 25.10.2016).

14. Врублевская В. И., Врублевский В. Б., Невзорова А. Б., Сидоренко К. М. Использование природных материалов для увеличения срока службы машин и механизмов // Тяжелое машиностроение. 2004. № 9. С. 33–35.

15. Богданович П. Н., Прушак В. Я. Богданович С. П. Трение, смазка и износ в машинах: учебник. Минск: Техналогія, 2011. 527 с.

References

1. *Porody dereva* [Types of tree]. Available at: <http://pipesland.ru/studio/materials/wood/> (accessed: 13.10.2016).

2. Rain N. Lignum Vitae: Wood So Bad-Ass, It's Used to Make Shaft Bearings for Nuclear Submarines (and More). Library Core77. 2013. Available at: <http://www.core77.com/posts/25224/> (accessed: 11.10.2016).

3. Bearings & Seals: Wood Makes a Comeback for Hydroelectric Turbine Bearing Applications. Available at: <http://www.hydroworld.com/articles/hr/print/volume-32/issue-4/cover-story/bearings-seals-wood-makes-a-comeback-for-hydroelectric-turbin.html> (accessed: 22.09.2016).

4. Balatskiy L. T., Begagoen T. N. *Deydvudnye ustroystva morskikh sudov* [Deadwood devices of sea vessels]. Moscow, Transport Publ., 1980. 192 p.

5. Rubin M. B., Bakhareva V. E. *Podshipniki v sudovoy tekhnike* [Bearings in shipbuilding]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1987. 344 p.

6. Stern Tube bearings. Available at: <http://www.lignum-vitae-bearings.com/WPages/wood-bearing/attachment/lignum-vitae-stern-tube-bearings/> (accessed: 24.08.2016).

7. Hydro power. Available at: <http://www.lignum-vitae-bearing.com/industries/hydro-power/> (accessed 01.10.2016).

8. Hydro turbine bearing. Available at: <http://www.woodxbearings.com/> (accessed: 25.08.2016).

9. Vrublevskaya V. I., Nevzorova A. B., Vrublevskiy V. B. *Iznosostoykie samosmazyvayushchiesya antifriktsionnye materialy i uzly treniya iz nikh* [Wear resistance self-lubricating antifriction materials and friction units of them]. Gomel, BelGUT Publ., 2000. 324 p.

10. Nevzorova A. B., Vrublevskiy V. B., Matusevich V. O., Vrublevskaya V. I. *Podshipniki skol'zheniya samosmazyvayushchiesya na osnove modifitsirovannoy drevesiny (teoriya, tekhnologiya i praktika): monografiya* [The self-lubricating plain bearings based on modified wood (theory, technology and practice): monograph]. Gomel, BelGUT Publ., 2011. 254 p.

11. Vrublevskiy V. B. *Issledovanie protsessov tortsovo-pressovogo deformirovaniya drevesiny i sozdanie vysokoproizvoditel'nogo oborudovaniya dlya izgotovleniya iz nee podshipnikov skol'zheniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Investigation of butt-pressing deformation of timber and creation of high-performance equipment for the manufacture of it plain bearings: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 2002. 20 p.

12. Nevzorova A. B., Vrublevskiy N. V., Vrublevskaya V. I., Gaft G. A., Zhuravlev Yu. A. *Poluavtomat dlya tortsovo-pressovogo deformirovaniya drevesnykh zagotovok* [Semiautomat for butt-pressing deformation of wooden billets]. Patent BY, no. 022215, 2015.

13. *Lesnoy fond* [Forest fund]. Available at: <http://www.mih.by/ru/forestry/resources.html> (accessed: 25.10.2016).

14. Vrublevskaya V. I., Vrublevskiy V. B., Nevzorova A. B., Sidorenko K. M. Use of natural materials for increase the service life of cars and mechanisms. *Tyazheloe mashinostroenie* [Heavy engineering], 2004, no. 9, pp. 33–35 (In Russian).

15. Bogdanovich P. N., Prushak V. Ya., Bogdanovich S. P. *Trenie, smazka i iznos v mashinakh: uchebnyk* [Friction, lubrication and wear in machines: textbook]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2011. 527 p.

Информация об авторах

Врублевская Валентина Ивановна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Детали машин, подъемные и строительные машины». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь).

Кузнецова Вероника Владиславовна – магистр технических наук, ассистент кафедры «Промышленные и гражданские сооружения». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь).

Аникеева Марта Владиславовна – соискатель ученой степени кандидата технических наук, инженер 2 категории кафедры «Материаловедение и технология материалов». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь). E-mail: marta.anikeeva@yandex.ru.

Information about the authors

Vrublevskaya Valentina Ivanovna – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department “Details of Machines, Lifting and Construction Machines”. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus).

Kuznetsova Veronika Vladislavovna – Master of Engineering, assistant lecturer of the Department “Industrial and Civil Construction”. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus).

Anikeyeva Marta Vladislavovna – competitor of scientific degree of PhD (Engineering), engineer 2 category of Department “Materials Science and Materials Technology”. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: marta.anikeeva@yandex.ru

Поступила 02.11.2016

УДК 621.3.029.6:674.8

В. В. Кузнецова, М. В. Аникеева, В. И. Врублевская
Белорусский государственный университет транспорта

АНТИФРИКЦИОННЫЙ ПРИРОДНЫЙ КОМПОЗИТ И ЕГО СТРОЕНИЕ

Применяя натуральную древесину в качестве антифрикционного материала, ее всегда рассматривали как капиллярно-пористый или капиллярно-сосудистый блочный материал, который можно уплотнять (прессовать), пропитывать различными модификаторами для придания заданных свойств. Сложное микроскопическое и анатомическое строение, молекулярное строение древесинного вещества и субмикроскопическое строение клеточной стенки, обуславливающие высокие прочностные свойства и износостойкость, не учитывались.

В работе рассмотрены анатомические элементы древесины и их роль в жизнедеятельности дерева. К главным элементам лиственных пород относятся древесные волокна (либриформ), обладающие наибольшими механическими свойствами; сосуды, служащие для проведения воды вдоль ствола дерева. У хвойных пород механическую и проводящую роль одновременно выполняют трахеиды. В лиственных и хвойных породах встречается древесная паренхима, которая является местом отложения питательных веществ. Сердцевинные лучи представляют лентообразное скопление тонкостенных паранхимных клеток, проводящих воду и выработанные деревом органические вещества в горизонтальном направлении. Все клетки, за исключением сердцевинных лучей, располагаются в стволе дерева вертикально и объединяются в единую систему межклеточным веществом. Проанализировано молекулярное строение древесинного вещества клеточных стенок, компонентами которого являются целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин, пектиновые, экстрактивные и неорганические минеральные вещества. В водно-водородных связях с органическими компонентами располагаются молекулы воды, количество которых находится в метастабильном состоянии с влажностью окружающей среды. Особую роль в клеточной стенке играют пектиновые вещества, способствующие удержанию ее тканей в состоянии тургора.

Изучено субмикроскопическое (тонкое) строение древесинного вещества в клеточной стенке. Показано, что все компоненты имеют определенное месторасположение и направление по отношению к оси клетки, образуя в ней оболочки (слои): первичную, переходную, вторичную и третичную. Анализ строения древесины позволяет утверждать, что она является сложным природным композитом, имеет высокую износостойкость.

Ключевые слова: древесина, анатомические элементы, микроскопическое строение, молекулярное строение, субмикроскопическое строение, целлюлоза, гемицеллюлоза, лигнин.

V. V. Kuznetsova, M. V. Anikeeva, V. I. Vrublevskaya
Belarusian State University of Transport

ANTIFRICTION NATURAL COMPOSITE AND IT'S STRUCTURE

Being used as antifrictional material, wood was always considered as capillary-porous or capillary-vascular block material that can be compacted (pressed), impregnated various substances. Complex microscopic and anatomic structure, molecular structure of wood material and submicroscopic structure of the cellular walls, causing a high strength and wear resistance properties weren't considered.

The anatomic elements of wood and their role in activity of a tree are discussed in this work. The main elements of hardwood timber are wood fibers (libreform), that have the highest mechanical properties; the vessels serving for transferring out water along a trunk of a tree. Softwood tracheids perform mechanical and conductive role. Wood parenchyma is found in hardwood and softwood, and is a place of deposition of nutrients. Wood rays are ribbon-shaped cluster of thin-walled paranhimnyh cells transferring water and organic matter developed by a tree in the horizontal direction. All cells, except for the wood rays, are arranged vertically in a tree trunk and are combined into a single system by intercellular substance. The molecular structure of the wood substance of the cellular walls, which components are cellulose, hemicellulose, lignin and pectic, extractive, inorganic mineral substances was analysed. In water-hydrogen communications with organic components there are water molecules in a metastable state. The pectins play a special role in a cellular wall as they hold her fabrics in a condition of turgor.

The submicroscopic (thin) structure of the wood substance in a cellular wall was studied. It is shown that each component has a certain location and direction relative to the axis of the cell, forming its covers (layers): primary; transitional, secondary and tertiary. The analysis of a structure of wood allows to assert that it is a difficult natural composite, that has high wear resistance.

Key words: wood, anatomic elements, microscopic structure, molecular structure, submicroscopic structure, cellulose, hemicellulose, lignin.

Введение. Древесина является высокопрочным капиллярно-пористым природным композитом, на основе которого модифицированием можно создавать новые с заданными свойствами антифрикционные материалы для применения в различных сферах производства, в том числе в машиностроении для изготовления подшипников скольжения [1, 2, 3].

Древесина – анизотропный материал. Ее строение и механические свойства различны на трех основных срезах ствола дерева: поперечном (торцовом) – поперек волокон, продольном радиальном – вдоль волокон по радиусу, продольном тангенциальном – перпендикулярно радиусу (рис. 1) [2, 4].

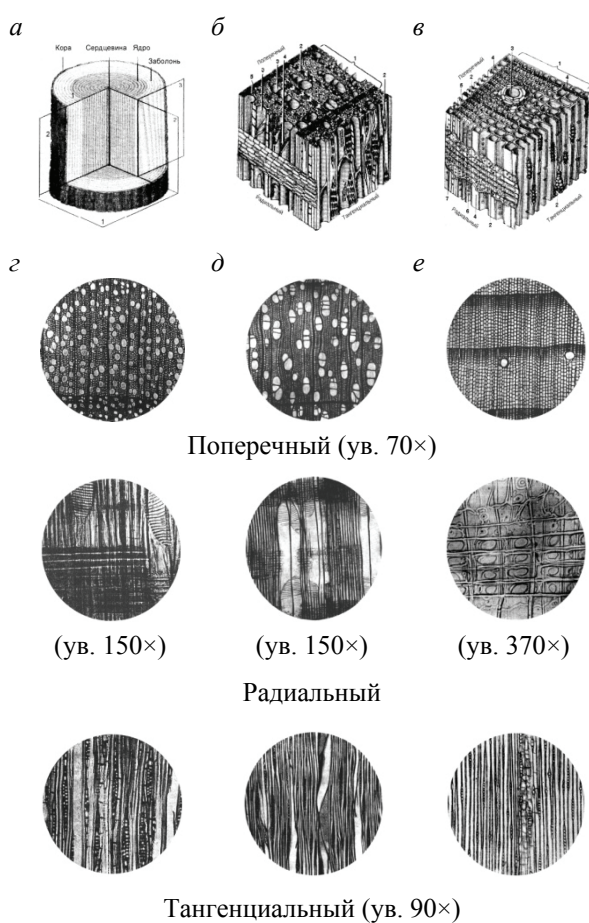


Рис. 1. Структуры древесины на различных срезах:
a – главные срезы ствола дерева;
б, в – схемы микроскопического строения древесины березы и сосны соответственно;
г, д, е – микроструктуры срезов натуральной древесины бакаута, березы, сосны соответственно

В статье рассматривается строение древесины березы, которая является наиболее распространенной лиственной породой, произрастающей в Республике Беларусь, и по запасам она занимает 2-е место после сосны [5].

По микроскопическому строению древесина березы схожа с бакаутом, плотность которого $\rho = 1,15\text{--}1,20 \text{ г/см}^3$ (плотность древесинного вещества $\rho = 1,54 \text{ г/см}^3$). Подшипники скольжения для гребных винтов морских судов дальнего плавания и подлодок набираются только из древесины бакаута [6, 7, 8].

Плотность древесины березы составляет $\rho = 0,6 \text{ г/см}^3$ (40% объема занимает древесинное вещество, 60% – полости капилляр), а прессованной на 50% $\rho = 1,2 \text{ г/см}^3$, как у бакаута. При этом у нее 20–25% объема занимают полости не полностью сформированных капилляров. После прессования при пропитке полости заполняются смазкой. Такая древесина применяется для изготовления износостойких самосмазывающихся подшипников скольжения, работоспособных в различных условиях эксплуатации.

Однако теория высокой износостойкости антифрикционной прессованной модифицированной древесины отсутствует из-за незнания ее молекулярного, субмикроскопического и тонкого строения древесинного вещества клеточных стенок и непонимания процессов, происходящих при трении, что вызывает негативное отношение к этому материалу у производителей и некоторых ученых.

Многочисленные лабораторные и промышленные испытания самосмазывающихся подшипников скольжения из модифицированной древесины в различных абразивно-агрессивных средах, в которых подшипники скольжения и качения выходят из строя, показали удивительное свойство противостоять износу трущихся поверхностей, удалению абразивных частиц из зоны трения во время работы подшипников. Однако теоретическая интерпретация этому отсутствует.

Из вышеизложенного следует, что существует необходимость в изучении микроскопического строения древесины, молекулярного строения древесинного вещества, субмикроскопического строения клеточной стенки и обосновании высокой работоспособности природного композита как антифрикционного материала.

Основная часть. Микроструктура древесины состоит из тесно сросшихся между собой различного рода клеток, весьма разнообразных по своей форме и величине. Клетка состоит из клеточной стенки и полости. Молодая клеточная стенка состоит из целлюлозы, или клетчатки; с возрастом она изменяется, происходит ее одревеснение в результате появления в них лигнина.

Анатомические элементы древесины. Основные типы анатомических элементов (клеток) представлены на рис. 2 [9].

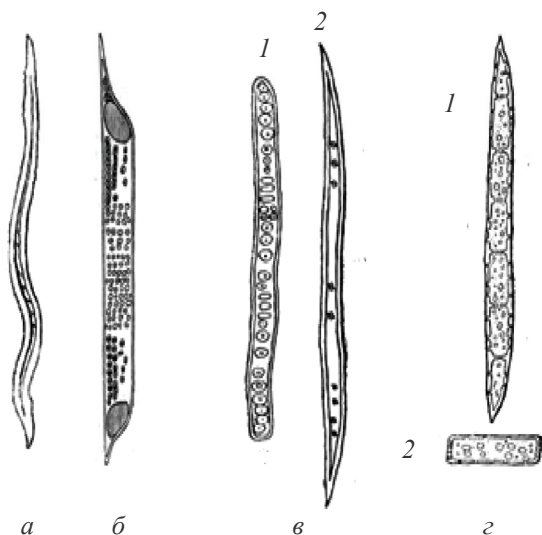


Рис. 2. Анатомические элементы древесины:
 а – древесные волокна, или либриформы;
 б – сосуды; в – трахеиды хвойных пород:
 1 – трахеида ранней древесины; 2 – трахеида
 поздней древесины; z – древесная паренхима,
 или запасующие клетки (1) и паренхимная клетка
 сердцевинных лучей (2)

Древесные волокна, или волокна либриформа, (рис. 2, а) являются наиболее распространенными клетками древесины лиственных пород.

Они представляют собой длинные клетки с заостренными концами, с толстыми оболочками и узкими полостями. Стенки волокон либриформа всегда одеревенелые. Размер древесных волокон у всех пород различен и по длине колеблется от 0,7 до 1,6 мм, а по диаметру – от 20 до 70 мкм. Древесные волокна составляют основную часть древесины лиственных пород, занимая от 36 до 67% ее объема. По своим механическим свойствам они являются наиболее крепкими анатомическими элементами.

Сосуды (рис. 2, б) – система клеток, имеющих только в древесине лиственных пород, служат для проведения воды вдоль ствола дерева. Они представляют собой широкие и очень длинные трубки, состоящие из ряда клеток, расположенных одна над другой, поперечные стенки которых полностью или частично растворились. Стенки сосудов тонкие. Диаметр сосудов весьма различен: у крупнососудистых пород он достигает 500 мкм, у мелкососудистых – 70 мкм и более. Длина сосудов в среднем около 10 см, но могут достигать 2–3 м. Сосуды лиственных пород составляют от 7 до 43% от объема древесины.

Трахеиды (рис. 2, в) – это механические или опорные клетки, служащие одновременно для проведения воды у хвойных пород. Они представляют собой замкнутые клетки, имеющие

веретенообразную форму, длиной до 6,5 мм и диаметром 25–38 мкм. Трахеиды имеют довольно толстые стенки (более толстые у поздней древесины) и составляют почти всю массу древесины (90–95% по объему). Сосуды у хвойных пород отсутствуют.

У хвойных пород встречаются смоляные ходы (рис. 1, е; рис. 3, а), которые служат для накопления и выделения смолы.

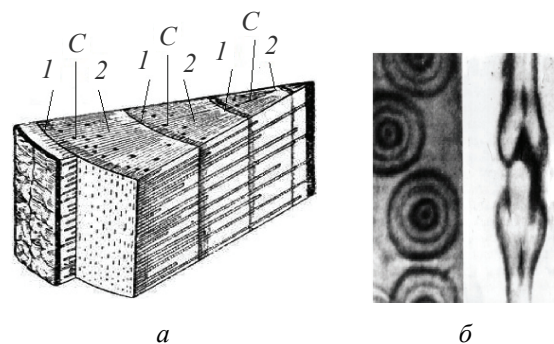


Рис. 3. Расположение сердцевинных лучей в стволе дерева (а) и поры в стенках сосудов либриформа и трахеид (б):

1 – осенняя часть годичного слоя; 2 – весенняя часть годичного слоя; С – смоляные ходы

Смолы – это экстрактивные вещества. Смоляные ходы бывают вертикальными, тянущимися параллельно оси ствола, и горизонтальными, встречающимися только в сердцевинных лучах. Диаметр вертикальных смоляных ходов обычно равен сумме диаметров четырех трахеид. Длина смоляных ходов колеблется от 10 до 80 см. Смоляные ходы располагаются главным образом в летнем слое годичного кольца. Они занимают от 0,10 до 0,17% объема древесины.

Древесная паренхима (рис. 2, z) – живые клетки, являющиеся местом отложения питательных (органических) веществ. Она имеет вид продольного волокна из паренхимных клеток, разделенных поперечными перегородками одна от другой. Стенки клеток древесной паренхимы сравнительно тонкие, одеревенелые. В клетках паренхимы могут накапливаться белки, жиры, пигменты и др. Древесная паренхима встречается в древесине хвойных и лиственных пород. Количество ее у хвойных пород в среднем равно 1% от объема всей древесины, у лиственных пород она занимает от 2 до 15% по объему.

Серцевинные лучи (рис. 3, а) служат для проведения воды и выработанных деревом органических веществ в горизонтальном направлении по радиусам его поперечного сечения. Они представляют собой лентообразное скопление тонкостенных клеток шириной 0,05–1,00 мм. На 1 см² тангенциального среза их приходится

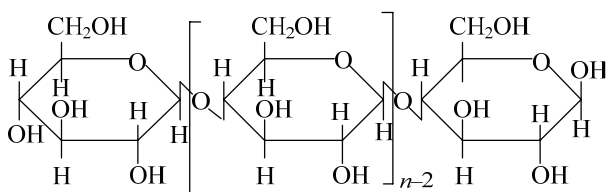
до 3000 штук. От общего объема они составляют от 2 до 7%. Клетка сердцевинных лучей является паренхимной (запасующей).

Все клетки, за исключением сердцевинных лучей, располагаются в стволе дерева вертикально. Они объединяются в единую систему межклеточным веществом и сообщаются между собой через **поры** (отверстия) (рис. 3, б) диаметром от 4 до 8 мкм. На 1 мм² клеточной стенки насчитывается 50–60 пор.

Сосуды и трахеиды у многих древесных пород часто закупориваются **тиллами**, представляющими собой выросты паренхимных клеток, проникающие внутрь полостей сосудов и трахеид через поры в их стенках. Тиллы, закрывая полости сосудов и трахеид, значительно уменьшают водопроницаемость древесины и сильно препятствуют пропитке. Чаще всего тиллы образуются в старых сосудах.

Молекулярное строение древесинного вещества клеточных стенок [10]. Древесинное вещество клеточных стенок – это многокомпонентный природный композит, у которого плотность $\rho = 1,54 \text{ г/см}^3$, состоящий из целлюлозы ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n (40–50%); гемицеллюлоз (18–35%); лигнина (16–25% – в лиственных породах, 23–33% у хвойных); экстрактивных веществ: жиры, воски, смолы (5–15%); пектиновых веществ ($\approx 1,5\%$). Неорганические минеральные вещества (0,25–1,00%) находятся в паренхимных клетках. При сжигании древесины они образуют золу.

Целлюлоза ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n – наиболее изученный компонент древесины, представляющий собой линейный высокоориентированный полимер. Фрагмент макромолекулы целлюлозы имеет вид



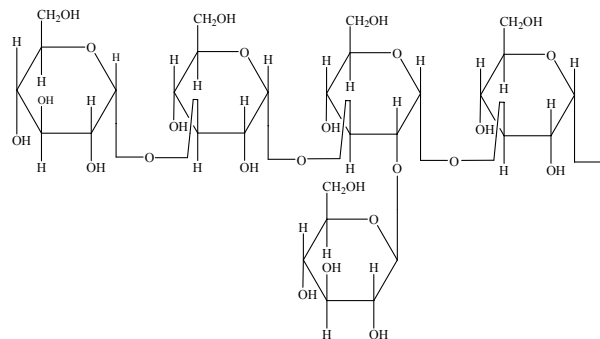
Степень полимеризации его колеблется от 50–200 до 5000–10 000 и более.

Элементарное звено макромолекулы целлюлозы (мономер) $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$ содержит три полярные спиртовые группы OH, которые расположены в строго определенном порядке и обуславливают высокую реакционную способность целлюлозы. Все реакции и превращения, которые могут быть осуществлены на целлюлозе, ограничиваются превращениями только гидроксильных OH-групп.

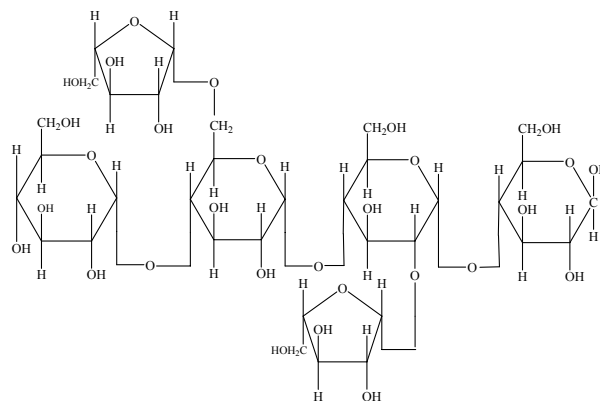
Никаких разветвлений в макромолекуле целлюлозы нет, они сильно вытянуты, поэтому имеет место интенсивное межмолекулярное взаимодействие.

Целлюлоза обуславливает высокую механическую прочность, гибкость, упругие свойства древесины.

Гемицеллюлозы – нецеллюлозные полисахариды, сопутствующие целлюлозе и представляющие группу веществ – гексозаны ($\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$)_n:



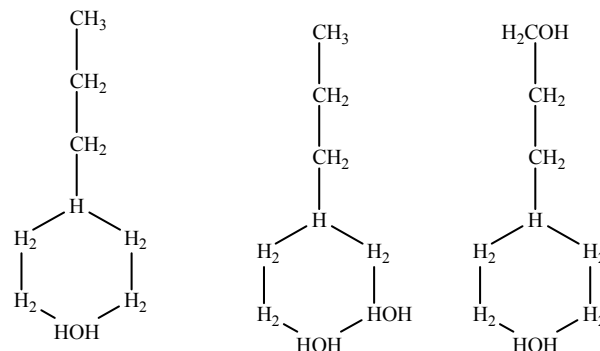
и пентозаны ($\text{C}_6\text{H}_8\text{O}_5$)_n:



Степень полимеризации их в среднем 100–200. В клеточной стенке они находятся, как правило, вместе с лигнином, образуя с ним аморфное вещество, которое окутывает целлюлозные микрофибриллы и фибриллы и придает монолитность и прочность клеточным стенкам.

В древесине гемицеллюлоз содержится от 17 до 43%, причем в лиственной древесине их в 1,5 раза больше, чем в хвойной.

Лигнин до настоящего времени не получен в чистом виде, так как нет точного представления о нем как о химическом веществе. Он является смесью веществ, имеющих как ароматические, так и алифатические группы:



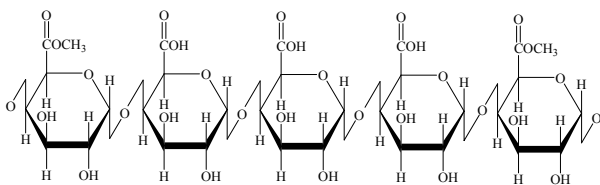
Лигнин не может образовывать прочных систем, так как имеет сравнительно небольшой молекулярный вес (от 200 до 1000), степень полимеризации составляет 20–35; структура его рыхлая, непрочная. Плотность абсолютно сухого лигнина $1,5 \text{ г/см}^3$. О связи лигнина с другими компонентами древесины определенной теории нет. При помощи ацетилирования установлено, что лигнин содержит около 10% свободных гидроксильных групп. Он прочно связывает около 1% азота. Лигнин с целлюлозой химической связи не образует, а по-видимому, связан с ней механически, что позволяет удалять целлюлозу или лигнин из клеточных оболочек.

Интересен способ выделения лигнина биологическим методом, когда воздействуют на древесину некоторыми грибами, разрушающими углеводы и не затрагивающими лигнин.

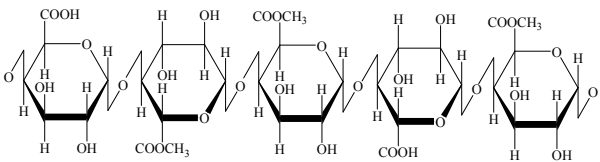
Прессование древесины происходит вследствие размягчения лигнина при нагревании, так как он становится термопластичным. Это свойство лигнина учитывается при переработке древесных материалов в производстве пластиков и плит [11, 12, 13].

Содержание лигнина в лиственной древесине – 16–25%, в хвойной – 23–33%. Некоторые породы деревьев, например акация, шелковица и др., содержащие незначительное количество лигнина, имеют очень твердую и плотную древесину.

Пектиновые вещества (пектины) – кислые полисахариды, представляющие собой высокомолекулярные сложные углеводы растений:



Они образованы остатками частично метоксилированной D-галактуронозой кислоты, в которой атом водорода заменен на группу OCH_3 :



Пектиновые вещества присутствуют в древесном веществе клеточной стенки; их содержится 1,5% от абсолютно сухой массы. Они способствуют поддержанию тканей в состоянии тургора, сохраняя целостность структуры клеточных стенок [4, 14, 15].

Экстрактивные вещества в древесине представляют сложную смесь разнообразных органических соединений: алифатические и аро-

матические углеводороды, кислоты, терпены, смоляные и жирные кислоты, эфирные масла, жиры, стеарины и др. В лиственных породах их менее 1%, а в хвойных – до 25%. Основная часть смолы – живица, которая находится в смоляных ходах (рис. 1, е; рис. 3, а), а в лиственной – почти полностью в лучевых паренхимных (запасующих) клетках. Экстрактивные вещества гидрофобны.

Неорганические минеральные вещества в древесине содержатся до 1% и находятся в лучевых паренхимных клетках. При сжигании древесины они образуют золу, которая частично растворяется в воде (10–15%). Растворяющаяся часть состоит из углекислого калия и натрия, растворимых солей соляной, серной и кремниевой кислот. Нерастворимыми веществами являются силикаты, фосфаты, окислы железа, магния, марганца, окись кальция.

В каждом растении присутствует 10 элементов: углерод, водород, кислород, азот, кальций, калий, фосфор, сера, магний и железо, которые имеют величайшее значение для его нормального роста [16]. Количественный состав компонентов древесинного вещества приведен в таблице.

Содержание основных органических веществ в клеточных стенках древесины, %

Наименование компонентов древесинного вещества	Породы древесины	
	лиственные	хвойные
Целлюлоза	39–47	41–58
Лигнин	17–27	28–34
Гемиллюлозы, в том числе:	20–38	15–23
– пентозаны	15–30	5–12
– гексозаны	до 8	9–17
Пектиновые вещества	1,5	
Экстрактивные дубильные вещества, смолы (гидрофобные)	5–15	
Неорганические минеральные вещества	0,25–1,00	

Все компоненты образуют древесинное вещество, плотность которого составляет $\rho = 1,54 \text{ г/см}^3$. Они имеют строго определенное месторасположение и направление в клеточной стенке, обуславливая ее субмикроскопическое строение, которое находится за пределами разрешающей силы оптических микроскопов [2, 17].

Субмикроскопическое (тонкое) строение древесинного вещества в клеточной стенке. Представление о субмикроскопическом строении клеточной стенки складывается на основе исследований на электронных микроскопах [2].

При последовательном удалении из клеточной стенки составляющих компонентов

древесинного вещества микроструктурный рисунок древесины сохраняется.

При разрушении целлюлозы грибом четко выделяется **срединная пластинка**, состоящая в основном из лигнина, которая объединяет все клетки (капилляры) в единую капиллярную структуру (рис. 4, з).

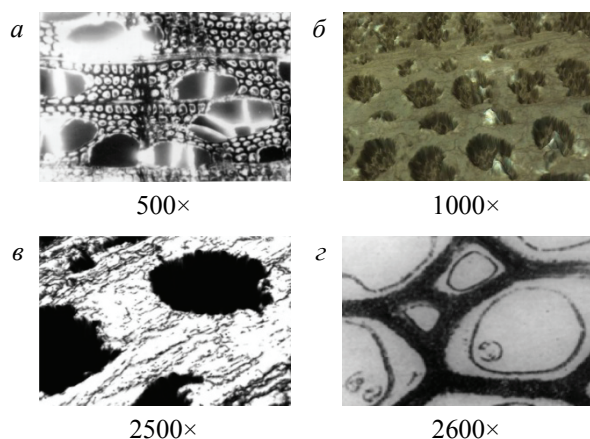


Рис. 4. Микроструктуры торцовых (поперечных) срезов древесины березы:
а, б, в – натуральной; з – лигнинный скелет березовой древесины (целлюлоза разрушена грибом *Polyporus betulinus*)

После изучения строение клеточной стенки с помощью электронного микроскопа была разработана модель тонкого субмикроскопического строения клеточной стенки лиственной и хвойной древесины, в которой различают несколько слоев, или оболочек (рис. 5, а).

Известно, что целлюлоза находится в клеточной стенке в виде фибрилл диаметром 25–40 нм, длиной 1000–2500 нм, а они состоят из более тонких микрофибрилл (мицеллярных прядей) диаметром ≈ 10 нм, длиной 50–60 нм. Было установлено расположение и ориентация микрофибрилл в различных слоях клеточной стенки.

К срединной пластинке примыкает **первичная** оболочка толщиной ≈ 100 нм, в которой микрофибриллы целлюлозы перекрещиваются, образуя сетку (рис. 5, а, б), свободное пространство которой заполняют лигнин, гемицеллюлозы, пектиновые вещества.

К **первичной оболочке** примыкает **переходный** ко вторичной оболочке слой толщиной примерно 200 нм. Он состоит из концентрических слоев, расположенных под углом 40–50° к оси клетки микрофибрилл, пересекающихся друг с другом (рис. 5, а). В переходном слое содержание лигнина уменьшается, а гемицеллюлоз увеличивается.

К **переходному слою** прилегает самый мощный **вторичный** слой, толщиной 1000–5000 нм, состоящий из 95% целлюлозных высокоориен-

тированных, параллельных микрофибрилл, расположенных под небольшим углом к оси клетки (рис. 5, а, в).

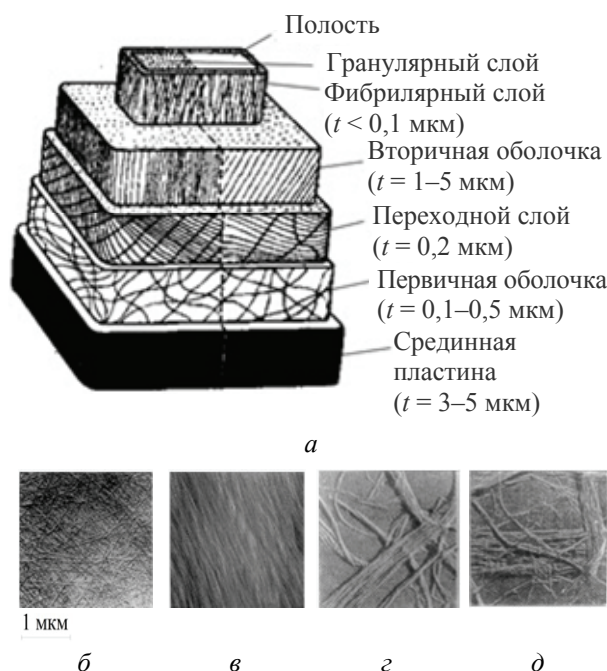


Рис. 5. Модель тонкого строения клеточной стенки лиственной (слева) и хвойной (справа) древесины (а) и электронные микрофотографии:
б – первичной оболочки (ув. 38 800×); в – вторичной оболочки (ув. 23 000×); волокон целлюлозы:
з – египетского хлопка; д – еловой древесины (ув. 47 000×)

К **вторичному слою** примыкает **третичная, или внутренняя, оболочка**, смежная с полостью капилляра. Толщина ее около 100 нм. Она состоит из микрофибрилл целлюлозы, параллельных оси клетки (капилляра). Внутренняя поверхность третичной оболочки, граничащая с полостью, у трахеид хвойной древесины покрыта гранулами, которые образуются при высыхании питательных веществ, содержащихся в полостях растительной клетки. У капилляров лиственной древесины внутренняя поверхность гладкая.

В **третичной и первичной оболочках** присутствуют **пектиновые вещества**, которые способствуют удержанию тканей клетки в состоянии тургора. Благодаря тургору третичная оболочка обладает большой упругостью и конструктивной прочностью [4]. Пектиновые вещества в третичной оболочке, по-видимому, обуславливают четкое ее изображение (рис. 4, з).

В древесинном веществе клеточной стенки присутствует гигроскопическая влага, молекулы воды которой связаны с компонентами древесинного вещества водно-водородными связями. Количество их находится в метастабильном состоянии с влажностью окружающей среды.

Гигроскопичность изучалась на построенных пространственных сферических моделях кристалла целлюлозы [2, 16].

Геометрические размеры кристаллической решетки (рис. 6, а) приняты по размерам элементарной ячейки Мейера – Миша, которая характеризуется следующими параметрами: $a = 0,835$, $b = 1,03$, $c = 0,79$ нм и $\beta = 84^\circ$.

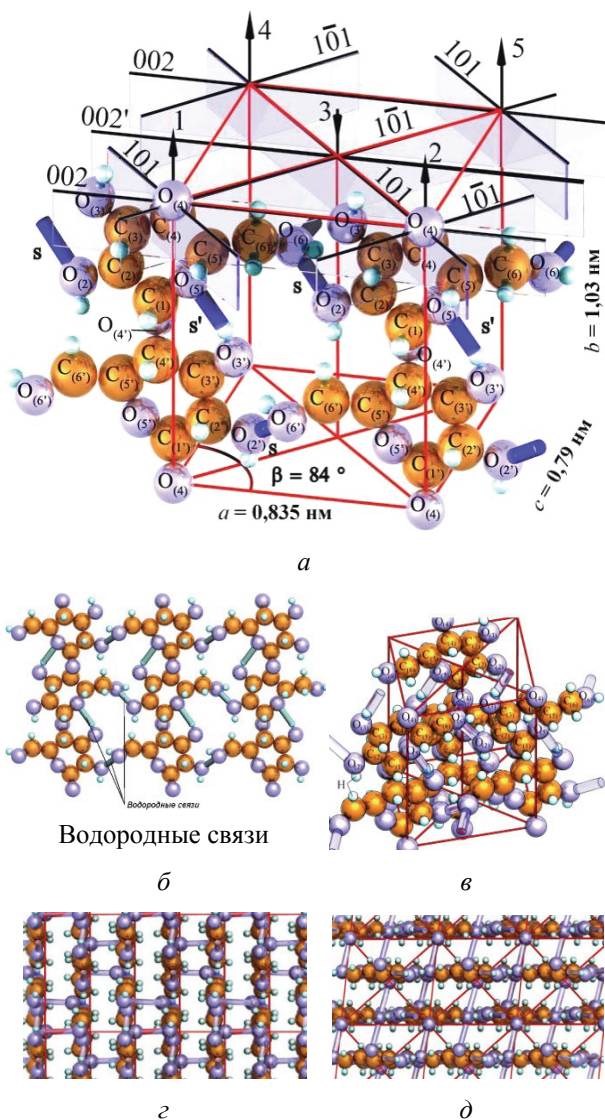


Рис. 6. Пространственная модель целлюлозы: а – плоскости кристаллической решетки и расположение звеньев в кристалле; б – расположение молекул целлюлозы во фронтальной плоскости $ab(002)$; в – межмолекулярные водородные связи в кристалле целлюлозы; з, д – молекулярное строение микрофибриллы вторичного слоя клеточной стенки капилляра: з – вид в плоскости bc (вид сбоку); д – вид в плоскости ac (вид сверху)

Плоскость ячейки ab (плоскость 002) содержит четыре глюкозных кольца $C_6H_{10}O_5$. Оси целлюлозных цепей расположены вдоль ребер b .

В соседней плоскости $002'$ глюкозные кольца повернуты на 180° [2].

Данная модель позволяет рассмотреть взаимное расположение молекул и межмолекулярных связей с любой точки. Мультиплицирование кристаллической решетки до уровня макрокристалла позволило представить четко просматриваемую его слоистую структуру на виде сбоку (рис. 6, з) и виде сверху (рис. 6, д).

На рис. 6, б представлена пространственная модель расположения молекул целлюлозы во фронтальной плоскости $ab(002)$. Совокупность однонаправленных макромолекул целлюлозы составляет ее кристаллическую структуру – это множество слоев, состоящих из параллельных и вертикально ориентированных макромолекул (рис. 6, в, з, д). Межмолекулярные связи осуществляются посредством H -взаимодействия.

Каждое глюкозное звено $C_6H_{10}O_5$ имеет одну межмолекулярную связь в слое $O_{(2)}H-O_{(6)}$; вторую – между слоями $O_{(2)}H-O_{(4)}$ соседнего слоя, третью – внутримолекулярную связь $O_{(3)}H-O_{(5)}$.

Эти три вида связей обеспечивают единство структуры вторичного и третичного слоев клеточной стенки с параллельными и ориентированными макромолекулами целлюлозы вдоль оси клетки (капилляра). Последние обуславливают анизотропию древесины.

Клетки, объединенные в единую систему межклеточным веществом (рис. 4, з), представляют контактную зону подшипников скольжения самосмазывающихся торцово-прессового деформирования древесных карточек (ПСС ТПД).

О расположении компонентов древесинного вещества в контактной зоне ПСС ТПД.

В данных подшипниках скольжения все клетки (капилляры) перпендикулярны к контактной зоне [18]. Следовательно, все волокна направлены по радиусу подшипника. На рис. 7 представлена модель торцового сечения капилляра, которое является контактной поверхностью в подшипнике. В зоне трения присутствуют все компоненты древесинного вещества. Во всех оболочках стенки капилляра находятся фибриллы целлюлозы. Они в первичной оболочке толщиной $t = 200$ нм перекрещиваются, а в переходном слое толщиной $t = 100$ нм пересекаются под углом $40-50^\circ$; между ними присутствует аморфный лигнин и гемицеллюлозы. В оболочках вторичной $t = 1000-5000$ нм и третичной $t \approx 100$ нм микрофибриллы целлюлозы параллельны и высокоориентированы вдоль оси капилляра (рис. 6, б, з).

Трение во вторичной и третичной оболочках осуществляется поперек микрофибрилл целлюлозы, которые являются основным несущим слоем.

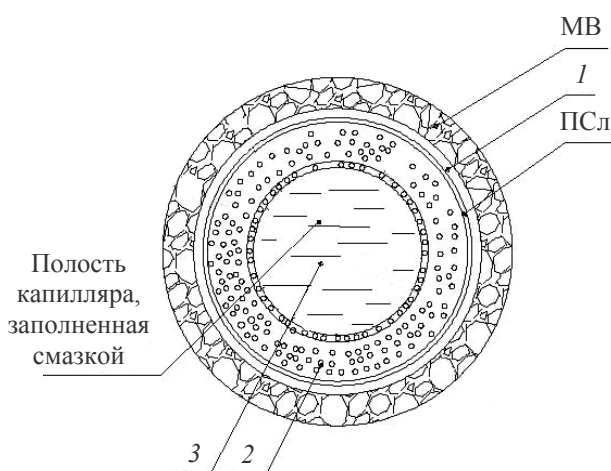


Рис. 7. Модель торцевого сечения клетки на субмикроскопическом уровне:

МВ – межклеточное вещество; 1 – первичный слой (оболочка); ПСл – переходный слой; 2, 3 – вторичная и третичная оболочки с торцовым расположением фибрилл

При трении происходит комплекс реакций на контактной поверхности подшипников скольжения. Все реакции, которые могут быть осуществлены на целлюлозе, ограничиваются превращением только гидроксильных ОН-групп через разрыв их химической связи Н–О, энергия которой составляет $E = 466$ кДж/моль.

В контактной зоне под действием генерируемого тепла разрываются химические связи и у высокомолекулярных модификаторов смазки.

Так, например, у полиэтилена $(-CH_2-CH_2-)_n$ энергия разрыва химической связи CH_2-CH_2 составляет $E = 710$ кДж/моль. При этом образуются реакционноспособные радикалы, которые вступают в химические реакции с целлюлозой через связи Н–О и формируют адсорбционный граничный смазочный слой из макромолекул

модификатора, эффективно разделяющий соприкасающиеся поверхности, экранируя их.

Так как в контактной зоне также находятся гемицеллюлозы, лигнин, пектиновые вещества, то и у них будет происходить разрыв химической связи О–Н, взаимодействующей с модификатором смазки, образуя в комплексе граничный смазочный слой. Под действием нагрузки и скорости скольжения высокомолекулярные присадки в контактной зоне формируют высокоориентированный граничный смазочный слой.

Износ контактной поверхности природного антифрикционного композита в основном обусловлен разрывом внутримолекулярной связи целлюлозных макромолекул, энергия разрушения которой $CO \rightarrow C + O$ составляет $E = 1076,4$ кДж/моль. Это происходит при температуре генерируемого тепла на микроконтактах свыше $180-190^\circ C$. Для предотвращения деструкции макромолекул целлюлозы предельное значение скорости и давления ограничивается параметром pv до $3,5$ МПа · м/с, при котором температура в контактной зоне не превышает $150^\circ C$. Данный параметр в 7–10 раз больше, чем у всех антифрикционных полимеров.

Заключение. Из вышеизложенного следует, что древесина является сложным природным композиционным материалом, имеющим уникальное микроскопическое строение, сложное молекулярное строение древесинного вещества с определенным расположением его компонентов в клеточной стенке, обуславливающим ее субмикроскопическое (тонкое) строение.

Такое сочетание капиллярно-пористого строения древесины, молекулярного и субмикроскопического строения древесинного вещества в оболочках клеточной стенки обуславливают высокие демпфирующие, физико-механические и антифрикционные свойства природного композита.

Литература

1. Врублевская В. И., Невзорова А. Б., Врублевский В. Б. Износостойкие самосмазывающиеся антифрикционные материалы и узлы трения из них. Гомель: БелГУТ, 2000. 324 с.
2. Невзорова А. Б., Врублевский В. Б., Матусевич В. О., Врублевская В. И. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика): монография. Гомель: БелГУТ, 2011. 254 с.
3. Шамаев В. А., Никулина Н. С., Медведев И. Н. Модифицирование древесины: монография. М.: ФЛИНТА, 2013. 448 с.
4. Лесная энциклопедия: в 2-х т. М.: Сов. энциклопедия. Т. 1. 1985. 563 с.; Т. 2. 1986. 631 с.
5. Лесной фонд [Электронный ресурс] / Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь. URL: <http://www.mlh.by/ru/forestry/resources.html> (дата обращения: 25.10.2016).
6. Rain N. Lignum Vitae: Wood So Bad-Ass, It's Used to Make Shaft Bearings for Nuclear Submarines (and More) // Library Core77. 2013. URL: <http://www.core77.com/posts/25224/> (accessed: 11.10.2016).
7. Балацкий Л. Т., Бегагоен Т. Н. Дейдвудные устройства морских судов: учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Транспорт, 1980. 192 с.
8. Рубин М. Б., Бахарева В. Е. Подшипники в судовой технике: справочник. Л.: Судостроение, 1987. 344 с.
9. Уголев Б. Н. Древесиноведение и лесное товароведение: учебник. М.: Академия, 2006. 272 с.

10. Кононов Г. Н. Химия древесины и ее основных компонентов: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2002. 260 с.
11. Азаров В. И., Буров А. В., Оболенская А. В. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Лань, 2010. 624 с.
12. Утгоф С. С. Термомеханически модифицированная древесина ольхи и березы для изготовления лицевого слоя паркетных изделий: дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2014. 104 с.
13. Карманов А. П., Демин В. А., Давыдов В. Д. Разветвленность полимерных цепей лигнина // Химия древесины. 1990. № 3. С. 114–116.
14. Пектиновые вещества [Электронный ресурс] // Энциклопедия Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пектины> (дата обращения: 10.10.2016).
15. Пектины: свойства, получение, применение [Электронный ресурс] // Аналитический портал химической промышленности. URL: http://newchemistry.ru/letter.php?n_id=6344 (дата обращения: 10.10.2016).
16. Самин Д. К. Закон минимума // Сто великих научных открытий. М.: Вече, 2012. С. 85–89.
17. Врублевская В. И., Матусевич В. О., Кузнецова В. В. Гигроскопичность древесины на молекулярном уровне и обоснование СВЧ-излучений для ее сушки // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 196–201.
18. Врублевский В. Б. Исследование процесса торцово-прессового деформирования древесины и создание высокопроизводительного оборудования для изготовления из нее подшипников скольжения: автореф. ... канд. техн. наук. Минск, 2002. 20 с.

References

1. Vrublevskaya V. I., Nevzorova A. B., Vrublevskiy V. B. *Iznosostoykie samosmazyvayushchiesya antifriktsionnye materialy i uzly treniya iz nikh* [Wear resistance self-lubricating antifriction materials and friction units of them]. Gomel, BelGUT Publ., 2000. 324 p.
2. Nevzorova A. B., Vrublevskiy V. B., Matusевич V. O., Vrublevskaya V. I. *Podshipniki skol'zheniya samosmazyvayushchiesya na osnove modifitsirovannoy drevesiny (teoriya, tekhnologiya i praktika): monografiya* [The self-lubricating plain bearings based on modified wood (theory, technology and practice): monograph]. Gomel, BelGUT Publ., 2011. 254 p.
3. Shamaev V. A., Nikulina N. S., Medvedev I. N. *Modifitsirovanie drevesiny: monografiya* [Modification of wood: monograph]. Moscow, FLINTA Publ., 2013. 448 p.
4. *Lesnaya entsiklopediya* [Forest Encyclopedia]. Moscow, Sov. entsiklopediya Publ., 1985, vol. 1, 563 p.; 1986, vol. 2, 631 p.
5. *Lesnoy fond* [Forest fund]. Available at: <http://www.mlh.by/forestry/resources.html> (accessed: 25.10.2016).
6. Rain N. Lignum Vitae: Wood So Bad-Ass, It's Used to Make Shaft Bearings for Nuclear Submarines (and More). Library Core77. 2013. Available at: <http://www.core77.com/posts/25224/> (accessed: 11.10.2016).
7. Balatskiy L. T., Begagoen T. N. *Deydvudnye ustroystva morskikh sudov* [Deadwood devices of sea vessels]. Moscow, Transport Publ, 1980. 192 p.
8. Rubin M. B., Bakhareva V. E. *Podshipniki v sudovoy tekhnike* [Bearings in shipbuilding]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1987. 344 p.
9. Ugolev B. N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood science and forest commodity]. Moscow, Akademiya Publ., 2006. 272 p.
10. Kononov G. N. *Khimiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov* [Wood chemistry and its main components]. Moscow, MGUL Publ., 2002. 260 p.
11. Azarov V. I., Burov A. V., Obolenskaya A. V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Wood chemistry and synthetic polymers]. St. Petersburg, Lan' Publ., 2010. 624 p.
12. Utgof S. S. *Termomekhanicheski modifitsirovannaya drevesina ol'khi i berezy dlya izgotovleniya litsevogo sloya parketnykh izdeliy*: dis. ... kand. tekhn. nauk [Thermomechanical modified wood of alder and birch trees for making the surface layer of parquet products: dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 2014. 104 p.
13. Karmanov A. P., Demin V. A., Davydov V. D. Lignin branching of the polymer chains. *Khimiya drevesiny* [Chemical wood], 1990, no. 3, pp. 114–116 (in Russian).
14. *Pektinovyie veshchestva* [Pectin substance]. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Пектины> (accessed: 10.10.2016).
15. *Pektiny: svoystva, poluchenie, primenenie* [Pectin: properties, production, application]. Available at: http://newchemistry.ru/letter.phpn_id=6344 (accessed: 10.10.2016).

16. Samin D. K. Law of the minimum. *Sto velikikh nauchnykh otkrytiy* [One hundred of the great scientific discoveries], Moscow, Veche Publ., 2012, pp. 85–89 (in Russian).

17. Vrublevskaya V. I., Matusевич V. O., Kuznetsova V. V. Hygroscopicity of wood at the molecular level and justification of microwave radiation for its drying. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2: Forestry and Woodworking industry, pp. 196–201 (in Russian).

18. Vrublevskiy V. B. *Issledovanie protsessa tortsovo-pressovogo deformirovaniya drevesiny i sozdanie vysokoproizvoditel'nogo oborudovaniya dlya izgotovleniya iz nee podshipnikov skol'zheniya: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Investigation of butt-pressing deformation of timber and creation of high-performance equipment for the manufacture of it plain bearings: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 2002. 20 p.

Информация об авторах

Кузнецова Вероника Владиславовна – магистр технических наук, ассистент кафедры «Промышленные и гражданские сооружения». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь).

Аникеева Марта Владиславовна – соискатель ученой степени кандидата технических наук, инженер 2 категории кафедры «Материаловедение и технология материалов». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь). E-mail: marta.anikeeva@yandex.ru.

Врублевская Валентина Ивановна – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Детали машин, подъемные и строительные машины». Белорусский государственный университет транспорта (246653, г. Гомель, ул. Кирова, 34, Республика Беларусь).

Information about the authors

Kuznetsova Veronika Vladislavovna – Master of Engineering, assistant lecturer of the Department “Industrial and Civil Construction”. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus).

Anikeyeva Marta Vladislavovna – competitor of scientific degree of PhD (Engineering), engineer 2 category of Department “Materials Science and Materials Technology”. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: marta.anikeeva@yandex.ru

Vrublevskaya Valentina Ivanovna – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department “Details of Machines, Lifting and Construction Machines”. Belarusian State University of Transport (34, Kirova str., 246653, Gomel, Republic of Belarus).

Поступила 02.11.2016

УДК 674.048

А. А. Барташевич¹, Л. В. Игнатович¹, Е. В. Коробко², А. И. Скродский¹¹Белорусский государственный технологический университет²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова
Национальной академии наук Беларуси**РОЛЬ ПРИРОДНОГО КРЕМНЕЗЕМА В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ КЛЕЕВ**

В статье рассмотрена роль наполнителя клеевого состава – природного кремнезема – в улучшении физико-механических показателей фанерной продукции. Недостатком фанеры, изготовленной с карбамидоформальдегидным клеем, является относительно невысокая прочность и водостойкость, что ограничивает возможности применения ее в естественной среде. Применение природного кремнезема улучшает ряд физико-механических показателей фанеры общего назначения. При горячем склеивании происходит гелеобразование клеевой смеси, частицы кремнезема образуют разветвленные цепочки Si-O-Si-, которые пронизывают весь объем геля, и этот процесс сопровождается связыванием формальдегида и увеличением прочности склеивания древесных клеевых материалов. В статье приведены значения прочности фанеры в зависимости от объема вводимого в клей наполнителя природного кремнезема (от 0 до 12 мас. ч.), а также показывается роль наполнителя в улучшении водостойкости фанеры и уменьшении эмиссии формальдегида.

Ключевые слова: карбамидо-формальдегидные клеи, наполнитель, природный кремнезем, прочность, клеевой слой, скалывание, водостойкость, изгиб, формальдегид, эмиссия.

A. A. Bartashevich¹, L. V. Ignatovich¹, E. V. Korobko², A. I. Skrotskiy¹¹Belarusian State Technological University²A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute
of the National Academy of Sciences of Belarus**THE ROLE OF NATURAL SILICA AS ADHESIVE FILLER**

The article considers the role of an adhesive filler – natural silica, to improve the physical and mechanical properties of plywood products. The disadvantage of plywood made with the use of urea-formaldehyde glue, is a relatively low strength and water resistance, which limits the possibility of its using in a natural environment. The use of natural silica improves a number of physical and mechanical properties of general purpose plywood. When gluing hot glue mixture gelation occurs, the silica particles form branched chain Si-O-Si-, which penetrate the entire volume of the gel, and this process is accompanied by formaldehyde binding and an increase in bonding strength of wood laminated materials. The paper presents the plywood strength values depending on the amount of natural silica filler added into glue (from 0 to 12 pts. wt). However, the role of the filler in plywood water resistance improving and formaldehyde emission reducing is indicated.

Keywords: urea-formaldehyde adhesives, filler, natural silica, strength, adhesive layer, chipping resistance, water resistance, flexural strength, formaldehyde emissions.

Введение. В строительстве и мебельном производстве в большом объеме используется фанера общего назначения с наружными слоями из шпона древесины лиственных (ГОСТ 3916.1–96) и хвойных пород (ГОСТ 3916.2–96). В мебели фанера используется для изготовления щитовых деталей, задних стенок конструктивных элементов, ящиков и других изделий, в строительстве – для устройства опалубок, оборудования транспортных средств, интерьеров, при изготовлении паркетных изделий и др.

Для изготовления фанеры общего назначения марки ФК применяют карбамидоформальдегидные смолы и клеи на их основе, которые относятся к средней водостойкости. К важнейшим недостаткам фанеры общего назначения можно отнести: относительно низкую водостойкость, что ограничивает сферы ее применения; невы-

сокую прочность и долговечность при использовании в условиях с переменными климатическими условиями; выделение формальдегида, который является токсичным веществом [1–6].

Для достижения практических результатов по повышению качественных показателей фанеры общего назначения необходимо выполнить ряд экспериментальных исследований, в частности по применению адсорбирующих добавок к смолам, которые снижают концентрацию свободного формальдегида и способствуют улучшению эксплуатационных свойств клеевых композиций.

Предел прочности при скалывании по клеевому слою фанеры общего назначения марки ФК после вымачивания в воде в течение 24 ч должен быть не менее 1,5 МПа. Испытания фанеры объединения ОАО «Речицадрев» показали величину, близкую к уровню нижнего допустимого

предела. Такой водостойкости фанеры общего назначения недостаточно для широкого ее использования, в том числе в строительстве. Эти недостатки сужают рынок сбыта и область применения фанерной продукции.

Целью работы была разработка модифицированных клеев, позволяющих получить композиционные материалы из мягколиственных пород древесины с улучшенными эксплуатационными показателями.

Основная часть. Карбамидоформальдегидный клей модифицированный (далее КФ НФП-МД) предназначен для использования в качестве связующего при склеивании древесностружечных плит и фанеры.

КФ НФП-МД представляет собой водную суспензию, состоящую из карбамидоформальдегидной смолы марки КФ НФП (ТУ РБ 100699348.449–2002), сульфата аммония (ГОСТ 9097–82) в качестве отвердителя и природного кремнезема (ТУ 58761-001–2005) в качестве наполнителя. Отвердитель и наполнитель вводятся в смолу за 30–60 мин до начала работы.

Применение наполнителей кремнийорганической природы должно способствовать улучшению физико-химических и механических свойств клеевых соединений. Стоит отметить, что природный кремнезем состоит исключительно из активного микрокристаллического кремнезема, который отличается гораздо более низким водопоглощением по сравнению с другими наполнителями. Это свойство должно обеспечить увеличение водостойкости клеевого соединения.

Обладая большой удельной поверхностью, которая является одной из самых важных характеристик, природный кремнезем при протекании химической реакции образует цепочечную структуру и повышает сопротивление материала разрыву и изгибу.

Долговечность материала определяется его термо- и морозостойкостью, возможностью сохранять прочность при переменных климатических условиях. Так, одной из отличительных особенностей кремнийорганических соединений является возможность работать в температурном диапазоне от -60 до $+250^{\circ}\text{C}$.

Применение клеевых композиций с природным кремнеземом в качестве наполнителя должно уменьшить содержание формальдегида до класса эмиссии E 05 и улучшить ряд физико-механических показателей фанеры общего назначения. При горячем склеивании происходит гелеобразование. Частицы кремнезема образуют разветвленные цепочки Si-O-Si-, которые целиком пронизывают объем геля. Этот процесс сопровождается связыванием формальдегида в процессе структурирования и увеличением прочности склеивания древесных клееных материалов.

В целях определения оптимального состава клея проведены исследования по определению различных его свойств при следующих объемах вводимого в клеевую композицию наполнителя: 0, 2, 4, 6, 8, 10 и 12 мас. ч.

Эксперименты проводились в соответствии со стандартами:

– отбор и подготовка образцов – по ГОСТ 9620–94;

– физико-механические испытания фанерной продукции – по ГОСТ 9624–2009;

– определение предела прочности клеевых соединений при скалывании вдоль волокон – по ГОСТ 15613.1;

– определение предела прочности клеевых соединений при скалывании – по Европейским стандартам DINEN 204, DINEN 205;

– определение предела прочности образцов при статическом изгибе – по ГОСТ 9625–87;

– определение влажности образцов – по ГОСТ 9620–94;

– стандартами, регламентирующими технические условия на фанеру общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных и хвойных пород (ГОСТ 3916.1–96 и ГОСТ 3916.2–96);

– определение содержания свободного формальдегида – по методу WK1.

Обработку результатов выполняли с применением программного обеспечения Microsoft Office Excel 2007 и Statistika, статистический анализ – по ГОСТ 16483.0–89.

В процессе эксплуатации клеевые соединения подвергаются механическим нагрузкам, действию разнообразных физических и химических факторов, вследствие чего клеевой шов может набухать, становится хрупким, снижает прочность, т. е. стареет. Процесс старения может проходить в течение длительного времени, его скорость зависит от целого ряда факторов [7]. Прогнозирование долговечности клеевых соединений является одной из наиболее сложных задач. Для получения исчерпывающих данных о стойкости клеевых соединений необходимо затратить много времени на проведение испытаний. Поэтому используются ускоренными методами исследований с применением жестких режимов термовлагообработки. Рекомендуемые техническими условиями режимы испытаний определяются в первую очередь условиями эксплуатации и видом изделий [8–14].

Лабораторные испытания включали: испытания клеевой композиции (проводились в лаборатории реофизики и макрокинетики ИТМО имени А. В. Лыкова); склеивание образцов в производственных условиях ОАО «Речица-древ»; проверку прочности при изгибе, при скалывании по клеевому слою и водостойкости изделий из композиционных материалов (про-

водились на кафедре технологии и дизайна изделий из древесины Белорусского государственного технологического университета).

Опытные образцы формировали из пяти слоев березового лущеного шпона толщиной 1,5 мм. Применяли клей марки КФ-НФП. В качестве отвердителя использовали сульфат аммония, в качестве наполнителя – природный кремнезем при различном его количестве в составе клеевой смеси (в пределах от 0 до 12 мас. ч.)

Контрольные образцы склеивались клеем без наполнителя.

В целях сопоставимости результатов промышленных и лабораторных испытаний все опыты проводились при одинаковых условиях.

Результаты лабораторных и промышленных испытаний фанерной продукции при скалывании по клеевому слою, при статическом изгибе и по водостойкости приведены в табл. 1, 2 и 3 соответственно.

Таблица 1

Сравнительные показатели лабораторных и промышленных испытаний клеевых соединений композиционного материала при скалывании по клеевому слою

Рецептура клея (мас. ч.)	Вид обработки образца перед испытанием	Предел прочности при скалывании, МПа, при испытаниях		Степень сходимости результатов (лаб./произв.)
		промышленных	лабораторных	
98 смола + 2 отвердитель	Без предварительной обработки	1,57	1,49	0,95
94 смола + 2 отвердитель + 4 наполнитель	Без предварительной обработки	2,35	2,40	1,02
92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель	Без предварительной обработки	2,89	2,92	1,01
90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель	Без предварительной обработки	3,43	3,21	0,94
88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель	Без предварительной обработки	3,71	3,59	0,97
86 смола + 2 отвердитель + 12 наполнитель	Без предварительной обработки	3,86	3,67	0,95

Таблица 2

Данные лабораторных и производственных испытаний фанеры при статическом изгибе

Рецептура клея (мас. ч.)	Вид обработки образца перед испытанием	Предел прочности при скалывании, МПа, при испытаниях		Степень сходимости результатов (лаб./произв.)
		промышленных	лабораторных	
98 смола + 2 отвердитель	Без вымачивания	76,0	74,6	98,1
98 смола + 2 отвердитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	54,6	52,6	96,3
94 смола + 2 отвердитель + 4 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	64,0	62,4	93,3
92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	67,3	62,8	93,3
90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	76,2	69,7	91,4
88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	72,7	67,9	93,4
86 смола + 2 отвердитель + 12 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	74,2	70,5	95,0

Таблица 3

**Сравнительные показатели лабораторных и промышленных испытаний
клеевых соединений по водостойкости**

Рецептура клея (мас. ч.)	Вид обработки образца перед испытанием	Предел прочности при скалывании, МПа, при испытаниях		Степень сходимости результатов (лаб./произв.)
		промышленных	лабораторных	
98 смола + 2 отвердитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	1,53	1,42	0,93
94 смола + 2 отвердитель + 4 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	2,06	1,93	0,94
92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	–	2,19	–
90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	2,39	2,31	0,90
88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	2,56	2,48	0,95
86 смола + 2 отвердитель + 12 наполнитель	Вымачивание в воде 24 ч при температуре 20°C	2,61	2,78	0,95

Результаты испытаний по определению содержания свободного формальдегида методом WKI приведены в табл. 4.

Циклические испытания для прогнозирования долговечности фанерной продукции проведены при условии: образцы подвергались

заморозке при температуре –20°C в течение 12 ч и размораживанию при +20°C в течение 12 часов. Всего было проведено 20 циклов каждого этапа обработки. Прочность клеевых соединений на скалывание после циклических испытаний (–20°C...+20°C) приведена в табл. 5.

Таблица 4

Данные лабораторных испытаний при определении выделений формальдегида по методу WKI

Рецептура образца (мас. ч.)	Содержание формальдегида, 100 г/100 г сухого вещества
98 смола + 2 отвердитель	6,27
92 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель	4,96
90 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель	4,25
88 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель	4,16

Таблица 5

**Физико-механические показатели фанерной продукции
на скалывание поклеевому слою после циклических испытаний**

Рецептура клея (мас. ч.)	Вид обработки образца перед проведением испытаний (–20°C...+20°C)	Предел прочности при скалывании, МПа
98 смола + 2 отвердитель	12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C	1,760
96 смола + 2 отвердитель + 2 наполнитель	12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C	2,020
94 смола + 2 отвердитель + 2 наполнитель	12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C	2,123
92 смола + 2 отвердитель + 4 наполнитель	12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C	2,274
90 смола + 2 отвердитель + 6 наполнитель	12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C	2,141
88 смола + 2 отвердитель + 8 наполнитель	12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C	1,880
86 смола + 2 отвердитель + 10 наполнитель	12 ч замораживание при –20°C; 12 ч при +20°C	1,830

Заключение. Результаты лабораторных опытов по определению прочности клеевых соединений на скалывание и прочности фанеры на статический изгиб подтверждают те же закономерности, что и при промышленных испытаниях [15–16].

Данные лабораторных испытаний на скалывание по клеевому слою в среднем на 5,3% меньше, чем данные промышленных испытаний, но они превышают требования, допускаемые ГОСТ 3916.1–96 (1,5 МПа после выдержки в воде в течение 24 ч). Данные лабораторных

испытаний на статический изгиб в среднем на 7,6% меньше, чем при промышленных испытаниях, но выше, чем требуется по ГОСТ 3916.1–96 (не менее 25 МПа).

Применение природного кремнезема в качестве наполнителя способствует улучшению физико-механических показателей и долговечности клеевых композиционных материалов, уменьшению выделения свободного формальдегида. Лучшие показатели обеспечивает природный кремнезем в количестве 8–10 мас. ч. в клеевой композиции.

Литература

1. Волынский В. Н. Технология клеевых материалов: учеб. пособие для вузов. Архангельск: Архангельский государственный технологический университет, 1998. 299 с.
2. Глебов М. П., Брутян К. Г. Анализ природных минеральных модификаторов для клеящих смол // Лесопиление и сушка пиломатериалов. Состояние и перспективы развития: материалы Междунар. науч.-практ. конф. СПб.: СПбГЛТА, 2007. С. 28–33.
3. Кондратьев В. П., Кондращенко В. И. Синтетические клеи для древесных материалов. М.: Научный мир, 2004. 520 с.
4. Хрулев В. М., Мартынов К. Я. Долговечность древесностружечных плит. М.: Лесная промышленность, 1977. 168 с.
5. Соболевский М. В. Свойства и области применения кремнийорганических продуктов. М.: Химия, 1975. 295 с.
6. Справочник фанерщика / И. А. Шейдин [и др.]; под общ. ред. И. А. Шейдина. 3-е изд. М.: Лесная промышленность, 1968. 832 с.
7. Трутенько В. В., Божелко И. К., Снопков В. Б. Абиотические и биологические факторы, влияющие на разрушение древесины в период эксплуатации // Труды БГТУ. 2015. № 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 152–157.
8. Бучнева Е. А. Исследование клеевой композиции для фанеры // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2004. Вып. XII. С. 206–209.
9. Реестр интеллектуальной собственности [Электронный ресурс]. URL: <http://www.findpatent.ru> (дата обращения: 16.04.2013).
10. Независимый научно-технический портал [Электронный ресурс]. URL: http://www.ntpo.com/patents_building_materials (дата обращения: 16.04.2013).
11. ЛесПромИнформ [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lesprominform.ru/> (дата обращения: 16.04.2013).
12. ТехноСфера [Электронный ресурс]. URL: <http://tekhnosfera.com> (дата обращения: 16.04.2013).
13. Чубинский А. Н., Варанкина Г. С., Брутян К. Г. Совершенствование технологии склеивания фанеры // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2007. Вып. 179. С. 167–175.
14. Ковальчук Л. М. Технология склеивания. М.: Лесная пром-сть, 1973. 268 с.
15. Коробко Е. В., Барташевич А. А., Скродский А. И. Прогнозирование долговечности фанерной продукции строительного назначения // Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2015. С. 413–416.
16. Игнатович Л. В., Шпак С. И., Скродский А. И. Экспортноориентированная фанерная продукция строительного назначения с улучшенными эксплуатационными характеристиками // Новейшие достижения в области инновационного развития в химической промышленности и производстве строительных материалов: материалы Междунар. науч.-техн. конф. Минск, 2015. С. 421–424.

References

1. Volynskiy V. N. *Tehnologija kleenykh materialov: uchebnoe posobie dlia vuzov* [The technology of laminated materials: a manual for schools]. Arhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 1998. 299 p.

2. Glebov M. P., Brutjan K. G. Analysis of natural mineral modifiers for adhesives resins. *Lesopilenie i sushka pilomaterialov. Sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [The sawing and during of lumber. The state and prospects of development: proceedings of the International scientific-practical conference]. St. Petersburg, SPbGLTA, 2007. Pp. 28–33 (In Russian).
3. Kondratjev V. P., Kondrashchenko V. I. *Sinteticheskie klei dlja drevesnyh materialov* [Synthetic adhesives for wood materials]. Moscow, Nauchniy mir Publ., 2004. 520 p.
4. Hruljov V. M., Martynov K. Ja. *Dolgovechnost' drevesnostruzhechnyh plit* [Durability chipboard]. Moscow, Lesnaja promyshlennost Publ., 1977. 168 p.
5. Sobolevskiy M. V. *Svoystva i oblasti primeneniya kremniyorganicheskikh produktov* [Properties and applications of silicone products]. Moscow, Himija Publ., 1975. 295 p.
6. Sheydin I. A. *Spravochnik fanerschika* [Plywooder's directory]. Moscow, Lesnaja promyshlennost Publ., 1968. 832 c.
7. Trut'ko V. V., Bozhelko I. K., Snopkov V. B. Abiotic and biological factors influencing the destruction of the timber during operation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], no. 2: Forest and Woodworking industry, 2015, pp. 152–157 (In Russian).
8. Buchneva E. A. Investigation of plywood the adhesive composition. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU]. Ser. 2, issue 12: Forest and Woodworking industry, pp. 206–209 (In Russian).
9. *Reestr intellektual'noy sobstvennosti* [Intellectual Property Register]. Available at: <http://www.findpatent.ru/> (accessed 16.04.2013).
10. *Nezavisimiy nauchno-tehnicheskij portal* [Independent scientific and technical portal]. Available at: http://www.ntpo.com/patents_building_materials/ (accessed 16.04.2013).
11. *LesPromInfo* [TimberInfo]. Available at: <http://www.lesprominform.ru/> (accessed 16.04.2013).
12. *Tekhnosfera* [Tekhnosfera]. Available at: <http://teknosfera.com> (accessed 16.04.2013).
13. Chubinskiy A. N., Varankina G. S., Brutjan K. G. Improved plywood adhesion technology. *Izvestija Sankt-Peterburzhskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of St. Petersburg Forest Technical Academy], 2007, vol. 179, pp. 167–175 (In Russian).
14. Koval'chuk L. M. *Tehnologija skleivaniya* [Bonding Technology]. M.: Lesnaja promyshlennost' Publ., 1973. 268 p.
15. Korobko E. V., Bartashevich A. A., Skrotskiy A. I. Predicting the durability of plywood products for construction application. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Noveyshie dostizheniya v oblasti innovacionnogo razvitija v himicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitel'nyh materialov"* [Materials of International scientific-technical conference "The latest achievements in the field of innovation development in the chemical industry and the production of building materials"]. Minsk, BGTU Publ., 2015, pp. 413–416 (In Russian).
16. Ignatovich L. V., Shpak S. I., Skrotskiy A. I. Export-oriented plywood products construction application with improved performance. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii "Noveyshie dostizheniya v oblasti innovacionnogo razvitija v himicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitel'nyh materialov"*. [Materials of International scientific-technical conference "The latest achievements in the field of innovation development in the chemical industry and the production of building materials"]. Minsk, BGTU Publ., 2015, pp. 421–424 (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.

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by

Коробко Евгения Викторовна – доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси (229972, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: evkorobko@gmail.com.

Скродцкий Алексей Игоревич – 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: skrocki-a@belstu.by

Information about the authors

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

Ignatovich Ludmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of 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

Korobko Eugenia Viktorovna – DSc (Engineering), Professor, Head of the Laboratory Reophysicalsand Macrokinetics. A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (15, P. Brovki str., 229972, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evkorobko@gmail.com

Skrotskiy Aleksey Igorevich – Master of Engineering, assistant lecturer of 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

Поступила 25.10.2016

УДК 582.734.3; 674.038.3.004.12(476)

V. B. Zvyagintsev¹, I. M. Garanovich², D. V. Kozeka¹¹Belarusian State Technological University²SSI “Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus”**PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF *Crataegus submollis* Sarg. WOOD AT INTRODUCTION IN BELARUS**

The results of research of some physical and mechanical properties of *Crataegus submollis* Sarg. wood, formed in the conditions of introduction are presented in the article. By using standard wood research methods it was found that the average width of the annual ring is (2.76 ± 0.71) mm, 89% of which is taken by the latewood. Of all the species growing in Belarus hawthorn produces the most dense ($\rho_{12} = (912.2 \pm 6.6)$ kg/m³), solid (σ_{12} compression along fibers 73.2 MPa) and hard (H_{12} in cross section 108.2 N/mm²) timber. Hawthorn wood is characterized by high dynamics of water absorption and belongs to strongly shrinkable species, the ratio of its volume shrinkage is $(0.72 \pm 0.02)\%$. A supposition was put forward about good prospects of creation of complex *C. submollis* plantations and about this species introduction as an additional species in artificial forest stands.

Key words: wood, hawthorn, *Crataegus submollis*, introduction, physical and mechanical properties of wood, prospects of usage.

В. Б. Звягинцев¹, И. М. Гаранович², Д. В. Козека¹¹Белорусский государственный технологический университет²ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси»**ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ БОЯРЫШНИКА МЯГКОВАТОГО *Crataegus submollis* Sarg. ПРИ ИНТРОДУКЦИИ В БЕЛАРУСИ**

В статье приведены результаты исследований некоторых физико-механических свойств древесины боярышника мягковатого *Crataegus submollis* Sarg., сформированной в условиях интродукции. Путем использования стандартных методов исследования древесины было выявлено, что средняя ширина годичного слоя составляет $(2,76 \pm 0,71)$ мм, 89% которой занимает поздняя древесина. Из всех произрастающих в Беларуси пород боярышник формирует наиболее плотную ($\rho_{12} = (912,2 \pm 6,6)$ кг/м³), прочную (σ_{12} на сжатие вдоль волокон – 73,2 МПа) и твердую (H_{12} на поперечном разрезе – 108,2 Н/мм²) древесину. Древесина боярышника характеризуется высокой динамикой водопоглощения и относится к сильно усыхающим породам, коэффициент ее объемной усушки составляет $(0,72 \pm 0,02)\%$. Выдвинуто предположение о перспективности создания многоцелевых плантаций боярышника мягковатого и введения этого вида как дополнительной породы в лесные культуры.

Ключевые слова: древесина, боярышник мягковатый, *Crataegus submollis*, интродукция, физические и механические свойства древесины, перспективы использования.

Introduction. Timber, obtained in the conditions of Belarus from local breeds, is characterized by medium or low characteristics of physical and mechanical properties of wood. This leads to the forced importation of wood of so-called “valuable” species, with better operating properties. The main imported species are hardwood ones – beech, walnut, oak and wood of tropical trees, the average price of which according to the National Statistics Committee of Belarus is up to 5,000 US \$ per m³ [1]. In addition to high decorative properties, wood of these species has good hardness and strength coefficients and that enables them to be used widely for production of luxury furniture, floor, interior elements, machine parts and for the ornamental production. One of the promising areas of import substitution is species searching of introducents capable in the conditions of Belarus to form high-

quality wood, and in the long term replace imported foreign species.

Active research of wood properties of rare, and often endemic [2, 3, 4] and introduced [5, 6, 7] species is carried out in the countries of Western Europe. It is believed that a weak study of the wood properties is one of the obstacles to the widespread use of timber of such species as *Corylus colurna*, *Ostrya carpinifolia*, *Sorbus aucuparia*. It was found out that some of the exotic species growing in Europe, such as *Robinia pseudoacacia* are not inferior in strength [8] and biological stability [7] to tropical species, exceeding significantly the local species wood.

The most high-density and solid wood in the conditions of Eurasian temperate climate is formed by the plants of *Crataegus* (Hawthorn). These deciduous plants of the Rosaceae family are valued

for high decorative qualities, the fruit is widely used in food and pharmaceutical industries [9]. Since the mid-19th century many species of hawthorn were introduced in Belarus, which later became widespread in settlement gardening, became an ornament of parks, arboreta and estates [10]. In the collection of the Central Botanical Garden of NAS of Belarus according to 2012 inventory results 131 species and intraspecific taxa of plants of the hawthorn genus [11] are cultivated. Currently, hawthorn is widely cultivated in China, Italy, Turkey, Iran, Spain and other countries as fruit crops. Hawthorn is also widespread in the pharmaceutical industry in France, Mexico, Romania and other countries [12].

Crataegus submollis Sarg. is characterized by good winter hardiness and high-growth, which allowed it to be widely used in the creation of green areas in Belarus and many other countries of Central and North Europe [10]. The natural habitat of *C. submollis* stretches along the Atlantic coast of North America, where the species grows on damp slopes, on the forest edge. In nature, this tree is up to 8 m high, with the trunk diameter up to 30 cm, often multi-stemmed or bushy growing. Hawthorn is noted by its durability, the duration of plants life is up to 300 years.

Despite the high prevalence of this type the information about its wood quality is very fragmented, and there are no scientific data on the properties. The aim of our work was to study the basic physical and mechanical properties of the wood of this introduced species, formed in our country.

Materials and methods. Sampling and sample preparation was carried out in accordance with Standart GOST 16483.0-89. From *C. submollis* timber with the upper cutting diameter of 11 cm and 1,1 m long (the plant age is 25 years) edge-surfaced lumber was obtained, which was dried with painted butt-ends at indoor conditions for 3 months. Then standard samples of 20×20×30 mm were prepared, which were further conditioned

at indoor conditions for 1 month. The calculation of amount of sampling (number of samples) for each test variant was calculated to achieve the probability level of 95%. The study of the physical and mechanical properties were carried out according to the interstate standards [13–17].

Mechanical properties were tested on the universal testing machine MTS Insight 100, primary data processing was carried out in the program Test Works 4.

Physical and mechanical testing included determination of: average width of the annual ring, latewood content in the annual layer, density (basic and at humidity of 12%), shrinkage factor (in radial and tangential directions, by volume), water absorption, compressive strength along the fibers, and hardness of butt and side (tangential and radial) surfaces.

Results and discussion. According to the structure of the annual ring hawthorn belongs to the sparsi-vascular hardwood species with moderately expressed wood texture. The species is a heartwood, light brown with pink tinge nucleus gradually becomes pale yellow sapwood also having a light pinkish hue. Annual layers are of uneven width, clearly visible in a cross section, their boundaries are uneven, slightly wavy. Narrow light summer wood gradually becomes latewood, it becomes darker to the outer boundary of the annual ring. Annual layers are poorly visible on the longitudinal sections. Wood rays are numerous, narrow, clearly visible only on strictly radial cuts (splits) as light brown with a pink tinge shiny strips about 0.5 mm wide. The vessels are not visible.

In conditions of Belarus, *C. submollis* is characterized by high radial growth. The average width of the annual ring is (2.76 ± 0.71) mm (table). It is 30–40% higher than that of native hardwoods such as oak and ash, and is only a little bit lower than hornbeam growth [18]. 89% of the annual ring width is taken by the dark-colored latewood.

Physical and mechanical properties of hawthorn wood in conditions of Belarus

Wood property	Number of samples, n	Average value, X_{cp}	Standard deviation, S	Average error, S_y	Variation coefficient, v	Relative accuracy, P_y	
The average width of the annual ring, mm	15	2.76	0.71	0.18	25.73	14.26	
The content of latewood, %	15	89	2.0	0.01	2.25	1.25	
Density, kg/m ³	W = 12%	12	913.17	6.60	1.91	0.72	0.46
	basic	12	687.53	7.26	2.10	1.06	0.67
Shrinkage factor, %/%	radial	12	0.18	0.016	0.005	8.78	5.58
	tangential	12	0.32	0.016	0.005	5.05	3.21
	on volume	12	0.72	0.023	0.007	3.23	2.05
Water absorption (after 20 days), %	12	57.2	0.71	0.16	1.27	0.60	
Compressive strength along fibers, MPa	24	73.19	3.74	0.76	5.10	2.16	
Hardness, N/mm ²	cross section	10	108.6	4.10	1.30	3.77	2.70
	tangential	10	69.7	4.45	1.41	6.39	4.57
	radial	10	67.6	3.53	1.12	5.22	3.74

Of all the species growing in Belarus *C. submollis* generates the densest timber. Its density at the standardized moisture level averaged $(912.2 \pm 6.6) \text{ kg/m}^3$. Basic density is $(687.5 \pm 7.3) \text{ kg/m}^3$, which is 25% less than the density at 12% humidity. For most local species differences between these density expressions are from 16.5 to 19.5% [18]. Such significant difference of hawthorn is an indirect indication of the high propensity of its wood to swell, and, consequently, to shrinkage.

Results of the shrinkage study of hawthorn wood by the standard method confirmed this assumption. After drying one percent of bound moisture the hawthorn wood volume is reduced by $(0.72 \pm 0.02)\%$, allowing it to be placed among the highly shrinkable species. There is a significant shrinkage anisotropy in the transverse directions. The total tangential shrinkage in the tangential direction is almost 2 times higher than the radial one, the shrinkage non-uniformity coefficient is 1,78.

Shrinkage of hawthorn wood in the radial direction (shrinkage factor is 0.18%) is low and coincides with that of oak, ash and pine trees, and in the tangential direction the hawthorn with the coefficient of 0.32% compares well with the most shrinkable species – beech and hornbeam.

Hawthorn wood is characterized by high dynamics of water absorption (Figure). Particularly intense humidity increase process of samples immersed in water occurs during the first 24 hours, during which the humidity increases from 0 to 45.9%. After that, as the maximum moisture absorption approaches, the moisture increase slows down dramatically. Hawthorn samples moisture stable state at the indoor conditions is already obtained at the third day, while hornbeam wood reaches it after 7 days, and willow – after 30 days [19]. The high rate of water absorption of hawthorn can be attributed to advantages of this type of wood, as it is an indirect evidence of a good material saturation property by protective and decorative coatings. Maximum estimated humidity of hawthorn wood, which could theoretically be reached by the hawthorn wood at long-term storage in water, is obtained by the well-known for-

mula through its base density [18], and is 80,1%. This is much higher than the humidity stable state ($W = 57.2\%$), which was maintained during the laboratory experiment from the 3^d to 20th day. Obviously, such a difference is the consequence of the presence in the heartwood of a substantial volume of isolated cavities of anatomical elements, penetration of water into which is greatly hindered.

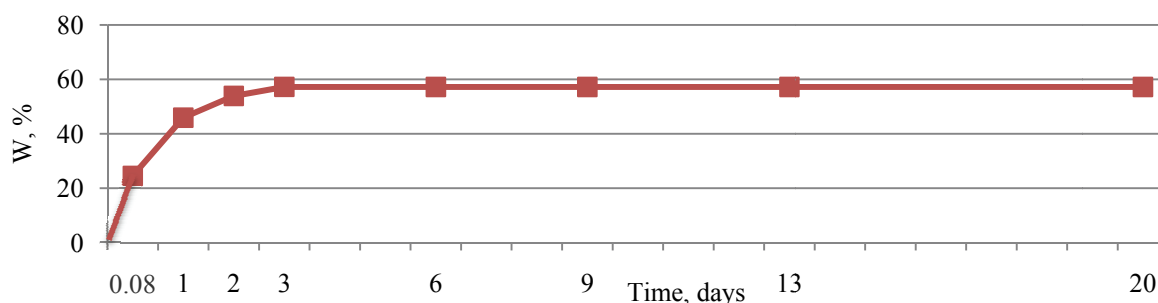
Durability of hawthorn wood at compression along the fibers is higher than that of all naturally growing species in Belarus, surpassing the strongest of them: 22% – hornbeam, 24% – ash, 27% – oak. Compressive strength in hawthorn wood is higher than in such high-strength imported species as beech, walnut, teak, iroko and achieves the strength of black locust and merbau.

In the soil and climatic conditions of Belarus *C. submollis* forms the most solid wood (Table). Static hardness of hawthorn wood in a cross section is higher than in the longitudinal ones 37.8–35.8%, which is not typical for hardwood. Such percentage difference is more characteristic to species with low density and low content of mechanical tissues, such as cedar, fir, linden and spruce [18]. Differences of hawthorn wood hardness in the tangential and radial directions are not statistically reliable.

Conclusions. 1. Widely cultivated in Belarus introductant *Crataegus submollis* Sarg. is characterized by good winter hardness and rather high growth rates – an average radial growth rate is 2.76 mm per year. Under the conditions of our country, it is able to grow in the form of a tree of a second magnitude, by 25 years already creating business assortments.

2. According to macroscopic structure the hawthorn wood belongs to sparsi-vascular hardwood species with moderately expressed texture and rather high decorative properties due to the core color and medullary rays.

3. In the soil and climatic conditions of Belarus *C. submollis* forms the most dense, firm and solid wood, and it is significantly superior according to these parameters than local species. Its wood has a high rate of water absorption and tendency to shrinkage and swelling.



The dynamics of water absorption of *C. submollis* wood

4. Wood with such a unique set of physical and mechanical properties could potentially replace part of imported tropical species, widely used in the production of parquet flooring, components operating at high loads, and decorative products.

5. We believe it to be a promising direction the study of the possibility of creating multipurpose plantations of *C. submollis* in Belarus, and introduction of this species as an additional one into forest plantations to improve stability, aesthetic and economic value of forest plantations, etc.

References

1. *Import tovarov v Respubliku Belarus' za yanvar'-dekabr' 2014 goda*. [Imports into the Republic of Belarus in January-December 2014]. Available at: http://belstat.gov.by/kscms/uploads/file/GU_torg/External/2014_utoh/tt100i09.pdf (accessed 01.02.2016.)
2. As N., Korkut S., Büyüksari Ü. Some physical and mechanical properties of turkish hazelnut (*Corylus co-lurna* L.) wood. *13th International Scientific Congress Machines, Technologies, Materials*. Borovets, Bulgaria, 2016, vol. 2, pp. 59–61.
3. Korkut S., Guller B. Physical and mechanical properties of European Hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) Wood. *Bioresource Technology*, 2008, no. 99 (11), pp. 4780–4785.
4. Korkut S., Guller B. Turkey's native wood species: physical and mechanical characterization and surface roughness of rowan (*Sorbus aucuparia* L.). *Wood Research*, 2009, vol. 54, no. 2, pp. 19–31.
5. Zvyagintsev V. B., Holopuk G. A. Technical properties of wood Douglas Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco.) when introduced in Belarus. *Ustoychivoe upravlenie lesami i ratsionalnoe lesopolzovanie: materialy Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Sustainable forest management and sustainable use of forest: materials of Intern. scientific-practical conf.] Minsk, 2010. Pp. 691–694 (In Russian).
6. Németh R., Csupor K., Ábrahám J., Komán S., Fehér S., Csordós D., Szeles P., Bak M., Fodor F. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) researches at the Institute of Wood Science. *Sovremennyye problemy biologicheskogo i tehnicheskogo drevesinovedeniya: sb. tr. 1 Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Modern problems of biological and technical Wood: proceedings of 1 Intern. scientific-practical. conf.]. Yoshkar-Ola, 2016. Pp. 37–45 (In Russian).
7. Pollet C., Jourez B., Hébert J. Natural durability of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) wood grown in Wallonia, Belgium. *Canadian Journal of Forest Research*, 2008, vol. 38, no. 6, pp. 1366–1372.
8. Pollet C., Verheyen C., Hébert J., Jourez B. Physical and mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood grown in Belgium. *Canadian Journal of Forest Research*, 2012, vol. 42, no. 5, pp. 831–840.
9. Boboreko E. Z. *Boyaryshnik* [Hawthorn]. Minsk, 1974. 222 p.
10. Antipov V. G. *Dekorativnaya dendrologiya* [Decorative dendrology]. Minsk, ABM Design Publ., 2000. 280 p.
11. Garanovich I. M., Rudevich M. N., Grinkevich V. G. The gene pool of the genus hawthorn (*Crataegus* L.) Belarus. *Aktualnyie problemy izucheniya i sohraneniya fito- i mikrobioty: sb. st. 2 Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.* [Actual problems of study and preservation of herbal- and mycobiota: proceedings of 2 Intern. scientific-practical conf.]. Minsk, BSU Center Publ., 2013. Pp. 6–9 (In Russian).
12. Strelets V. D., Balabanov V. I., Vinogradova O. A. Prospects of hawthorn introduction into industrial fruit culture. Available at: <http://science-almanac.ru/documents/22/2015-02-02-Strelets-Balabanov-Vinogradova.pdf> (accessed 01.02.2016.)
13. GOST 16483.1-84. Wood. Method for determination of density. Moscow, 1986. 7 p. (In Russian).
14. GOST 16483.17-81. Wood. Method for determination of static hardness. Moscow, 1984. 6 p. (In Russian).
15. GOST 16483.18-72. Wood. The method of determining the number of growth rings in 1 cm and content of latewood in the annual rings. Moscow, 1973. 4 p. (In Russian).
16. GOST 16483.10-73. Wood. Methods for determining the tensile strength of wood in compression along the grain. Moscow, 1974. 9 p. (In Russian).
17. GOST 16483.0-89. Wood. General requirements for physical and mechanical tests. Moscow, 1990. 11 p. (In Russian).
18. Paul E. E., Zvyagintsev V. B. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science in the basics of forest commodity]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 315 p.
19. Perelygin L. M. *Drevesina maloizuchenyih porod* [Wood of poorly known species]. Moscow, Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1952. 112 p.

Литература

1. Импорт товаров в Республику Беларусь за январь-декабрь 2014 года [Электронный ресурс]. URL: http://belstat.gov.by/kscms/uploads/file/GU_torg/External/2014_utoh/tt100i09.pdf (дата обращения 01.02.2016.)

2. As N., Korkut S., Büyüksari Ü. Some physical and mechanical properties of turkish hazelnut (*Corylus colurna* L.) wood // 13th International Scientific Congress Machines, Technologies, Materials. Borovets, Bulgaria, 2016. Vol. 2. P. 59–61.
3. Korkut S., Guller B. Physical and mechanical properties of European Hophornbeam (*Ostrya carpinifolia* Scop.) wood // Bioresource Technology. 2008. No. 99 (11). P. 4780–4785.
4. Korkut S., Guller B. Turkey's native wood species: physical and mechanical characterization and surface roughness of rowan (*Sorbus aucuparia* L.) // Wood Research. 2009. Vol. 54, No. 2. P. 19–31.
5. Звягинцев В. Б., Холопук Г. А. Технические свойства древесины псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco) при интродукции в Беларуси // Устойчивое управление лесами и рациональное лесопользование: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Минск, 18–21 мая 2010 г. С. 691–694.
6. Németh R., Csopor K., Ábrahám J., Komán S., Fehér S., Csordós D., Szeles P., Bak M., Fodor F. Black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) researches at the Institute of Wood Science // Современные проблемы биологического и технического лесоведения: сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф. 20–23 сентября 2016 г. Йошкар-Ола, 2016. С. 37–45.
7. Pollet C., Jourez B., Hébert J. Natural durability of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) wood grown in Wallonia, Belgium // Canadian Journal of Forest Research. 2008. Vol. 38, No. 6. P. 1366–1372.
8. Pollet C., Verheyen C., Hébert J., Jourez B. Physical and mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia*) wood grown in Belgium // Canadian Journal of Forest Research. 2012. Vol. 42, No. 5. P. 831–840.
9. Бобореко Е. З. Боярышник. Минск, 1974. 222 с.
10. Антипов В. Г. Декоративная дендрология. Минск: ДизайнПРО, 2000. 280 с.
11. Гаранович И. М., Рудевич М. Н., Гринкевич В. Г. Генофонд рода Боярышник (*Crataegus* L.) в Беларуси // Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микобиоты: сб. ст. II Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 12–14 ноября 2013 г. Минск: Изд. центр БГУ, 2013. С. 6–9.
12. Strelets V. D., Balabanov V. I., Vinogradova O. A. Prospects of hawthorn introduction into industrial fruit culture [Электронный ресурс]. URL: <http://science-almanac.ru/documents/22/2015-02-02-Strelets-Balabanov-Vinogradova.pdf> (дата обращения 01.02.2016).
13. ГОСТ 16483.1–84. Древесина. Метод определения плотности. Введ. 01.07.85. М., 1986. 7 с.
14. ГОСТ 16483.17–81. Древесина. Метод определения статической твердости. Введ. 01.01.83. М., 1984. 6 с.
15. ГОСТ 16483.18–72. Древесина. Метод определения числа годичных слоев в 1 см и содержания поздней древесины в годичном слое. Введ. 21.12.72. М., 1973. 4 с.
16. Древесина. Методы определения предела прочности древесины при сжатии вдоль волокон: ГОСТ 16483.10-73. М., 1974. 9 с.
17. ГОСТ 16483.0-89. Древесина. Общие требования к испытаниям. М., 1990. 11 с.
18. Пауль Э. Э., Звягинцев В. Б. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.
19. Перельгин Л. М. Древесина малоизученных пород. М.: Гослесбуиздат, 1952. 112 с.

Information about the authors

Zvyagintsev Vyacheslav 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

Garanovich Igor Mikhailovich – PhD (Biology), Associate Professor, Head of the Wood Plants Introduction Laboratory. SSI “Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus” (220012, Minsk, Surganova str., 2B, Republic of Belarus). E-mail: bel.dendr@gmail.com

Kozeka Dmitry Viktorovich – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlov str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dmitry_kozeka@mail.ru

Информация об авторах

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

Гаранович Игорь Михайлович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией интродукции древесных растений. ГНУ «Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси» (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 2В, Республика Беларусь). E-mail: bel.dendr@gmail.com

Козека Дмитрий Викторович – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: dmitry_kozeka@mail.ru

Поступила 02.11.2016

УДК 674.815

Е. И. Стенина, Т. Ю. Чеснокова, Н. А. Оберюхтина, И. А. Ваулина
Уральский государственный лесотехнический университет (Российская Федерация)

МОДИФИЦИРОВАНИЕ ДРЕВЕСНО-СТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ НАНОРАЗМЕРНЫМ СЕРЕБРОМ

Применение наноразмерных наполнителей в полимерматричных нанокompозитах вместо микроразмерных существенно улучшает целый ряд эксплуатационных и технологических свойств последних. В статье приведены результаты исследований по изучению различных вариантов введения нанодобавки в полимерматричные композиты с органическим наполнителем (древесиной), сформированные с применением различных синтетических связующих.

Добавление в связующее наноразмерного серебра, обладающего высокой поверхностной активностью, может привести к изменению протекания химической реакции поликонденсации связующего, что скажется на когезии полимера и, как следствие, на прочностных показателях композита. Также возможны трансформации процессов влагопереноса и насыщения древесного волокна как рабочим коллоидным раствором металла, являющегося полярной жидкостью, так и клеевой композицией, что, в конечном итоге, может повлиять на адгезию клее-древесного композита.

С целью проверки выдвинутых гипотез были определены основные физико-механические показатели древесно-стружечных плит на основе карбамидоформальдегидных и фенолоформальдегидных смол, модифицированных коллоидным раствором наноразмерных частиц серебра с использованием различных технологических вариантов их введения: добавлением в связующее и при предварительной обработке стружки.

Ключевые слова: полимерматричные нанокompозиты, наноразмерное серебро, древесно-стружечные плиты, смолы, прочность, разбухание, водопоглощение.

E. I. Stenina, T. Yu. Chesnokova, N. A. Oberjuhtina, I. A. Vaulina
Ural State Forest Engineering University (Russian Federation)

MODIFICATION OF CHIPBOARD NANOSCALE SILVER

Application of nano-sized fillers in polymer matrix nano-composites instead of size significantly improves a number of operational and technological properties of the latter. In the article the results of research into the various options for introducing nano additives in polymer matrix composites with an organic filler (timber) formed using different synthetic resins are given.

The adding into the binder of nano silver with high surface activity may result in a change of course of the chemical reaction of polycondensation of binder, that will affect the cohesion of the polymer and, consequently, on the strength of composite indicators. Also possible transformation processes and transport moisture saturation of wood fiber as working colloidal solution of metal, which is a polar liquid and adhesive composition, which ultimately could affect the adhesion of glue-wood composite.

To validate the hypotheses put forward the main physical and mechanical properties of wood-based panels based on urea-formaldehyde and fenol-formaldehyde resins and modified colloidal solution of nanoscale silver particles using different technological options of their introduction: the addition of a binder and preprocessing chips are determined.

Keywords: polymer matrix nanocomposites, nanoscale silver, chipboard, resin, strength, swelling, water absorption.

Введение. Приоритетными направлениями развития науки и технологий в Российской Федерации, странах ЕС, Японии в последние годы является создание композиционных и наноматериалов. Основной интерес вызывают полимерматричные нанокompозиты, в структурообразующую твердую матрицу которых введены наноразмерные частицы (1–100 нм), как правило, в виде наполнителей.

Применение наноразмерных наполнителей в полимерматричных нанокompозитах (Polymer-matrix nanocomposites, Nanofilled polymer composites) вместо микроразмерных существенно

улучшает целый ряд эксплуатационных и технологических свойств. Так, введение в состав композита всего 5 мас. % наноразмерных наполнителей позволяет в 5–15 раз снизить газопроницаемость и трещиностойкость, а также улучшить износостойкость материала по сравнению с полимерным композитом, содержащим 20–30 мас. % микроразмерного наполнителя.

В своем докладе «Наноразмерное состояние вещества» Ю. И. Михайлов отметил, что при уменьшении размеров от 100 до 10 нм наблюдаются относительно слабые, а в диапазоне от 10 до 1 нм – кардинальные изменения

фундаментальных физических и химических свойств веществ, в частности металлов. Изменяются параметры кристаллической решетки, температура плавления, электронная структура, каталитические и многие другие свойства.

Известно, что атомы на поверхности веществ вследствие асимметричного межатомного взаимодействия отличаются по свойствам от атомов внутри. Но в частицах размером 1–10 нм действие поверхностных сил проникает на 5–6 атомных плоскостей вглубь кристалла. Таким образом, влиянию этих сил подвергается практически весь объем, и, соответственно, все атомы могут рассматриваться как поверхностные. Это и объясняет кардинальные изменения свойств веществ [1, 2].

Благодаря влиянию высокоразвитой поверхности наполнителя на упорядочение расположения элементов в системах со случайно формируемой структурой (percolation threshold), а также локальным химическим взаимодействиям, включая скорость отверждения, мобильности и деформируемости полимерных цепей, упорядоченности структуры (степень кристаллизации полимерной матрицы), нанокompозитные материалы, содержащие наночастицы металлов в полимерной матрице, обладают уникальными свойствами, о чем свидетельствует успешный синтез нанокompозитов серебра и биосовместимых полимеров [1, 2].

Изменение механических свойств в дисперсно-упрочненных материалах может быть связано, как предполагает А. В. Гороховский, с интенсивным взаимодействием частиц наноразмерного наполнителя с материалом матрицы, что стимулирует возникновение в расплаве значительно большего числа центров кристаллизации (зародышей кристаллизации), приводящих, в конечном итоге, к формированию материала со значительно более высокой степенью кристаллизации [1]. Последнее, как известно, способствует более высокой механической прочности материала.

Наноразмерный характер частиц наполнителя может приводить к получению композиционных материалов, обладающих необычными структурой и свойствами, например, введение в полимерную матрицу некоторых наноразмерных наполнителей придает ей негорючесть и огнезащитные свойства, а также способность к биоразложению (biodegradability) [1].

Основная часть. Традиционно при производстве древесных композитов с повышенной биостойкостью используют антисептики, содержащие токсичные компоненты, например фтор. Учитывая, что в наше время ужесточается экологическое законодательство, которое ограничивает содержание токсичных веществ,

необходимо найти такие вещества, которые бы при условии сохранения основных физико-механических показателей снижали суммарную токсичность и повышали биостойкость, например, древесно-стружечных плит (ДСтП).

Исследования показали, что наноразмерное серебро в виде коллоидного раствора способно сохранять антибактериальные свойства в течение очень длительного времени [3].

В настоящее время российскими предприятиями налажен промышленный выпуск препаратов на основе наноразмерного серебра. Например, препарат «Nano Vita AG» (Нано Вита серебро, производитель – МНПХ «Созвездие»), предназначен для лечения внутренних и наружных воспалений, в том числе глаз; гели с наносеребром (производитель – НПО «Звезда»), обладают местным антисептическим, противомикробным, противовоспалительным, иммуномодулирующим, онкопротекторным действием. «Аргитос» (производитель – НПО «Синтек Нано») – биоцидная добавка с широким спектром противомикробного, противомикробного, противогрибкового и альгицидного действия – применяется в производстве медицинских препаратов.

Концерн «Наноиндустрия» выпускает препарат «AgБион-2», который предназначен для дезинфекции поверхностей жесткой и мягкой мебели, аппаратов и приборов в помещениях лечебно-профилактических учреждений, предприятий коммунально-бытового обслуживания (гостиниц, общежитий, санпропускников, бань, саун, прачечных, парикмахерских, общественных туалетов и пр.), общественного питания, торговли, потребительских рынков, образовательных учреждений, культуры, отдыха, спорта (бассейнов, спортивных и культурно-оздоровительных комплексов, кинотеатров, офисов) при инфекциях бактериальной этиологии (включая туберкулез); инфекциях вирусной этиологии (включая полиомиелит, ВИЧ-инфекцию), дерматофитиях, кандидозах, плесневых грибах.

Как показали испытания, проведенные в лабораториях ГУ НИИ питания РАМН, ГУ НИИЭМ им. Н. Ф. Гамалеи РАМН, НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН, ГУ НИИ вирусологии им. Д. И. Ивановского РАМН, ГУП МГЦД, ФГУЗ ЦНИИЭ Роспотребнадзора, препарат не содержит хлорсодержащих и других экологически вредных компонентов, биосовместим, относится к IV классу опасности при внутрижелудочном пути поступления. По степени летучести средство также относится к малоопасным веществам. Сенсибилизирующего эффекта не выявлено. В нативном виде средство оказывает раздражающее действие на слизистую оболочку глаз (IV класс опасности); по выраженности местнораздражающих

свойств относится также к IV классу опасности. Сенсибилизирующего действия не выявлено. Рабочие растворы при многократном воздействии не оказывают раздражающего действия на кожные покровы. Кожно-резорбтивного действия рабочих растворов не выявлено [3].

В качестве действующего вещества средство содержит наноразмерные частицы серебра средним размером 10–12 нм в количестве 0,045%, а также анионные поверхностно-активные вещества (ПАВ) и другие функциональные и технологические компоненты и около 98% воды. Показатель pH составляет 7,6–7,9. Рабочие растворы препарата не оказывают деструктивного влияния на материалы обрабатываемых изделий, не содержат хлорсодержащих компонентов, экологически безопасны. «AgБион-2» обладает невысокой стоимостью [3].

При модификации древесно-полимерных композитов наноразмерным серебром, обладающим высокой поверхностной активностью, существует вероятность изменения протекания химической реакции поликонденсации связующего, что может сказаться на когезии полимера и, как следствие, на прочностных показателях композита. Так, использование наноразмерных металлов может существенно снизить температурный порог реакции твердофазового синтеза за счет снятия кинетической заторможенности процессов [1].

Кроме того, при введении наноразмерного серебра возможны трансформации процессов влагопереноса и насыщения древесного волокна как рабочим коллоидным раствором металла, являющимся полярной жидкостью, так и клеевой композицией, что, в конечном итоге, может повлиять на адгезию клее-древесного композита. Следовательно, можно ожидать изменение водопоглощения и разбухания древесностружечных плит, содержащих наноразмерную добавку.

Как правило, для формирования ДСтП применяют термореактивные, поликонденсационные карбамидоформальдегидные (КФ) и фенолоформальдегидные (СФЖ) клеи. КФ связующее является более дешевыми, обеспечивают высокую прочность соединений, малое время горячего отверждения. Однако клеевой шов на их основе обладает ограниченной водо- и теплостойкостью (группа D3), хрупкостью, большой усадкой и коррозионностью.

К преимуществам СФЖ клеев можно отнести высокую водостойкость, а к недостаткам – повышенную стоимость и токсичность, но более низкую по сравнению с КФ-клеями скорость отверждения и концентрацию.

Целью исследований являлось изучение физико-механических свойств ДСтП на основе карбамидоформальдегидных и фенолоформальдегидных смол, модифицированных коллоидным раствором наноразмерных частиц серебра с использованием различных технологических вариантов введения этой биодобавки: добавлением раствора в связующее или при предварительном смешивании со стружкой. В качестве контрольных были сформированы плиты на данных связующих без нанодобавки [4].

Предел прочности на статический изгиб, водопоглощение и разбухание ДСтП определялись по ГОСТ 10634–89. С целью повышения достоверности все эксперименты были продублированы, а их результаты – подвергнуты статистической обработке.

Анализ полученных данных показал, что усиление наноразмерным серебром полимерной матрицы путем предварительного добавления его в связующее является более перспективным (рис. 1). Однако на прочность композита доминирующее влияние все же оказывает химизм самой матрицы. Так, упрочнение плиты на фенолоформальдегидном связующем проявляется ярче в присутствии нанодобавки.

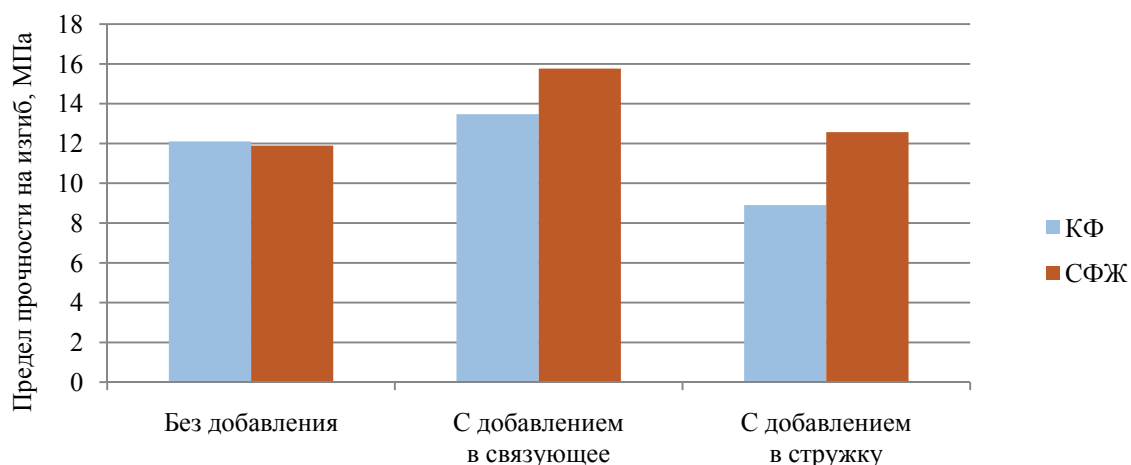


Рис. 1. Диаграмма предела прочности на статический изгиб ДСтП

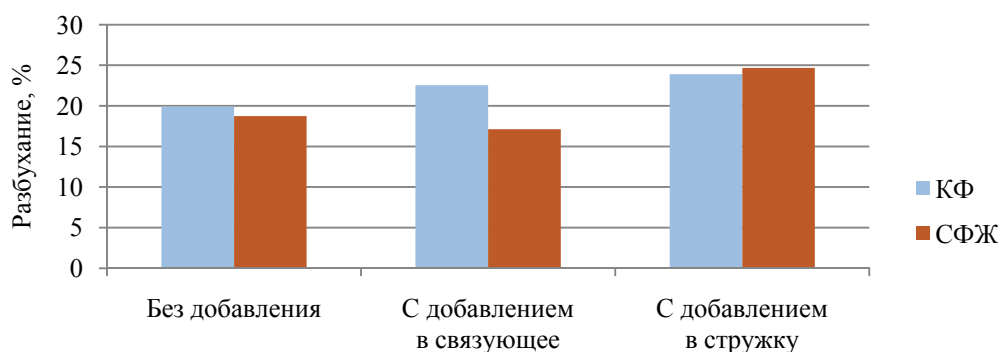


Рис. 2. Диаграмма разбухания ДСтП

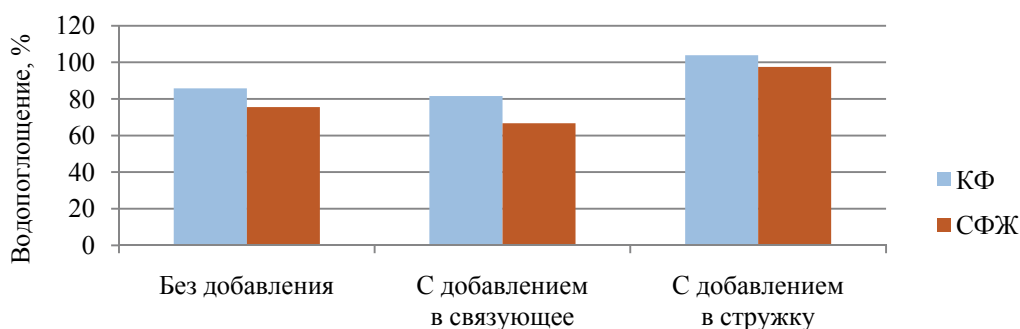


Рис. 3. Диаграмма водопоглощения ДСтП

Наноразмерные частицы серебра, вероятно, становятся поляризационными центрами, закрепившимися на древесном волокне композита и удерживающими согласно теории увлажнения Б. С. Чудинова адсорбционную влагу [5], провоцируя увеличение разбухания и водопоглощения ДСтП, сформированных из предварительно обработанной раствором наносеребра древесной стружки (рис. 2, 3). Наименьшие показатели разбухания и водопоглощения во всех технологических вариантах

формирования композитов наблюдаются, как и ожидалось, у плит на фенолоформальдегидной смоле.

Заключение. В целом можно сделать вывод, что применение наноразмерных наполнителей в полимерматричных композитах со значительным содержанием органических компонентов (древесины) однозначно сказывается на их физико-механических показателях и является перспективным направлением модификации древесно-стружечных плит.

Литература

1. Гороховский А. В. Композиционные наноматериалы. Саратов: СГТУ, 2008. 73 с.
2. Бартель В. Нанотехнологии для медицины: обмен идеями // Наука в Сибири, № 44 (2629), 15 ноября 2007 г. [сайт]. 2016. URL: <http://www.sbras.ru/HBC/hbc.phtml?11+439+1> (дата обращения: 05.09.2016).
3. Нанотехника: инженерный журнал [Электронный ресурс]. URL: <http://www.nanotech.ru/journal/> (дата обращения: 05.09.2016).
4. Стенина Е. И., Ваулина И. А., Оберюхтина Н. А. Изучение физико-механических свойств ДСтП, модифицированных наноразмерным серебром // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды XI Международного евразийского симпозиума, Екатеринбург, 25–28 мая 2016 г. Екатеринбург, 2016. С. 95–99.
5. Чудинов Б. С. Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984. 270 с.

References

1. Gorokhovskiy A. V. *Kompozitsionnye nanomaterialy* [Composite nanomaterials]. Saratov, SGTU Publ., 2008. 73 p.
2. Bartel V. Nanotechnology in medicine: the exchange of ideas. *Nauka v Sibiri* [Science in Siberia], no. 44 (2629), November 15, 2007 [website]. 2016. Available at: <http://www.sbras.ru/HBC/hbc.phtml?11+439+1> (accessed: 09.05.2016).
3. *Nanotekhnika: inzhenernyy zhurnal* [Nanotechnics: Engineering Journal]. Available at: <http://www.nanotech.ru/journal/> (accessed 05.09.2016).

4. Stenina E. I., Vaulina I. A., Oberyuhtina N. A. Study of the physical and mechanical properties of particleboard modified with nanoscale silver. *Derevoobrabotka tekhnologii oborudovanie menedzhment 21 veka: Trudy 11 Mezhdunarodnogo evraziiskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipments, twenty-first century management: proceedings of the 11 International Eurasian Symposium]. Ekaterinburg, 2016, pp. 95–99 (In Russian).

5. Chudinov B. S. *Voda v drevesine* [Water in the wood]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984. 270 p.

Информация об авторах

Стенина Елена Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: sten_elena@mail.ru.

Чеснокова Татьяна Юрьевна – магистрант кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: maxa071@yandex.ru.

Оберюхтина Надежда Андреевна – студент кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: nadyhaha16@bk.ru.

Ваулина Ирина Андреевна – студент кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: irva_a@mail.ru.

Information about the authors

Stenina Elena Ivanovna – PhD (Engineering), Assistant Professor of the Department of Innovative Technologies and Equipment for Woodworking. Ural State Forest Engineering University (37, Sibirskiy trakt, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation). E-mail: sten_elena@mail.ru.

Chesnokova Tatiana Yur'evna – Master's degree student of the Department of Innovative Technologies and Equipment for Woodworking. Ural State Forest Engineering University (37, Sibirskiy trakt, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation). E-mail: maxa071@yandex.ru.

Oberjuhtina Nadezhda Andreyevna – student of the Department of Innovative Technologies and Equipment for Woodworking. Ural State Forestry University (37, Sibirskiy trakt, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation). E-mail: nadyhaha16@bk.ru

Vaulina Irina Andreyevna – student of the Department of Innovative Technologies and Equipment for Woodworking. Ural State Forestry University (37, Sibirskiy trakt, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation). E-mail: irva_a@mail.ru

Поступила 15.11.2016

УДК 674.04

Е. И. Стенина, Т. Ю. Чеснокова

Уральский государственный лесотехнический университет (Российская Федерация)

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПРИМЕНЕНИЯ
КОЛЛОИДНОГО РАСТВОРА НАНОРАЗМЕРНЫХ ЧАСТИЦ СЕРЕБРА
В КАЧЕСТВЕ БИОЦИДА ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ В ЖЕСТКИХ УСЛОВИЯХ
ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Проведены экспресс-методом испытания по вымываемости защитного средства для древесины на примере пород сосны и осины с использованием коллоидного раствора наноразмерных частиц серебра «AgБион-2». Выполнен статистический анализ полученных результатов в ходе исследований, определяющих возможность применения раствора, содержащего наноразмерные частицы серебра, в качестве биоцида для древесины, используемой в жестких условиях эксплуатации, т. е. в банях и саунах, где древесина подвержена биоразрушению за счет повышенных влажности и температуры.

Эксперименты с использованием препарата в качестве биоцида для древесины в жестких условиях эксплуатации ранее никем не проводились, что подчеркивает уникальность выполненных исследований, в рамках которых осуществлялись испытания в двух режимах фиксации защитного средства: при оптимальных и высоких температурах. Результатом исследований является определение степени условной вымываемости в процентах для каждой породы древесины и, как вариант, создание модифицированной древесины.

Результаты анализа наглядно показывают высокую эффективность обработки древесины сосны и осины, относя исследуемый препарат к числу невымываемых защитных средств, что дает возможность получения экологически чистой, биозащищенной, дешевой древесины с большим эксплуатационным ресурсом, что крайне актуально в жестких условиях эксплуатации.

Ключевые слова: наносеребро, биозащита древесины, коллоидный раствор, наночастицы, нанотехнологии.

E. I. Stenina, T. Yu. Chesnokova

Ural State Forest Engineering University (Russian Federation)

**RESEARCH OF OPPORTUNITIES OF USE OF COLLOIDAL SOLUTION
OF NANODIMENSIONAL PARTICLES OF SILVER AS THE BIOCIDES
FOR WOOD IN SEVERE CONDITIONS OF EXPLOITATION**

A short-term test on the washout of the protective mean for wood was conducted using a colloidal solution of silver nanoparticles “AgBion-2” using the species of pine and aspen. There was carried out the statistical analysis of the results obtained in the course of the research, determining the possibility of application of a solution containing nanoscale particles of silver as a biocide for wood used in severe operating conditions, i.e., in the baths and saunas where wood is susceptible to washout, due to elevated humidity and temperature.

The experiments with the use of the preparation as a biocide for wood in severe conditions of exploitation nobody had previously conducted, which emphasizes the uniqueness of the research. Within the framework of which the tests were held in two modes of fixation of the protective mean: under optimum and high temperatures. The result of this research is to determine the extent of the conditional washout percentage for each timber species and optionally, creating a modified wood.

The results of the analysis clearly show the high efficiency of treatment of wood of pine and aspen, referring the examined preparation to the hardly washed out protective mean, that gives the possibility of obtaining environmentally friendly, biosecurity, cheap wood with high durability, which is extremely important in harsh environments.

Keywords: nanosilver, the biological protection of wood, colloidal solution, nanoparticles, nanotechnology.

Введение. При эксплуатации в зданиях и сооружениях древесина часто находится в условиях переменного воздействия повышенных или пониженных температур, переменной влажности; таким образом, возникают благоприятные условия для ее биоразрушения. Для увеличения

срока эксплуатации древесины осуществляют комплекс мер: конструкционных и химических.

В жестких условиях эксплуатации (интенсивного, постоянного или периодического увлажнения) химическая защита является обязательной мерой, а конструкционная – лишь страховой.

Для биозащитной обработки древесины в настоящее время чаще всего используются водные растворы солей либо композиции на основе органических растворителей и масел. Использование первых приводит к необходимости усложнения послепропиточной сушки изделий из массивной древесины, несоблюдение которой провоцирует высокую формоизменчивость и существенное трещинообразование. Вторые повышают горючесть и токсичность древесины. Общим для них является нарушение экологического баланса изделия или конструкции.

В жестких условиях эксплуатации для защиты древесины применяются трудновываемые защитные средства (антисептики) группы ССА, основными компонентами которых являются мышьяк и хром, которые относятся ко второму классу опасности. Область применения древесины, обработанной данными препаратами, ограничена (исключает жилые зоны).

Сейчас одна из быстро развивающихся областей современной нанотехнологии – это создание и использование наноразмерных материалов. Особенности столь широкого применения в настоящее время наноразмерных материалов в связаны с тем, что уменьшение размеров частиц твердого вещества ниже некоторого порога приводит к значительному изменению их свойств. Пороговый размер частиц, при котором происходит скачкообразное изменение свойств, для большинства известных материалов варьируется от 1 до 100 нм [1].

К наночастицам металлов, в том числе и серебра, предъявляют много требований, они должны быть устойчивыми долгое время, т. е. не агрегировать, не выпадать в осадок; иметь сферическую форму и размеры от 10 до 20 нм, так как именно наночастицы серебра сферической формы и данных размеров обладают наилучшими антимикробными свойствами.

Концентрация в растворе наночастиц серебра должна быть максимально высока, чтобы в последующем можно было приготовить растворы, мази, гели, кремы с различными концентрациями наночастиц серебра; кроме этого, раствор должен хорошо смешиваться как с полярными, так и с неполярными растворителями. Важно, как наночастицы серебра модифицируют различные материалы: хлопок, лен, нетканое полотно, краску, шпаклевку, гель, лак, древесину, древесностружечные плиты, чтобы в последующем производить материалы с новыми свойствами [2].

Основная часть. Перспективными направлениями внедрения наносеребра в различные отрасли считаются: производство лакокрасочной и косметической продукции, производство

средств защиты древесины, лесное и сельское хозяйство, производство и упаковка различной тары, производство строительных материалов и дезинфицирующих средств, пищевая и медицинская промышленность и др.

Интерес представляет возможность применения коллоидного раствора наноразмерных частиц серебра в качестве биоцида для защиты деревянных элементов, эксплуатирующихся в жестких условиях (интенсивном увлажнении и повышенных температурах), когда предъявляются особые санитарно-гигиенические требования, например в саунах, банях, бассейнах и т. п.

С этой целью были проведены испытания по определению экспресс-методом вымываемости наносеребра из древесины в соответствии с ГОСТ Р 50241–92 «Средства защитные для древесины» в двух режимах фиксации испытываемого защитного средства: при оптимальной ($(20 \pm 2)^\circ\text{C}$) и высокой ($(80 \pm 5)^\circ\text{C}$) температурах.

В качестве защитного средства при испытаниях применялся раствор наноразмерных частиц серебра марки «AgБион-2» концерна «Наноиндустрия», который обладает фунгицидными свойствами и не содержит хлорсодержащих и других экологически вредных компонентов, биосовместим и относится к IV классу опасности, что подтверждено испытаниями в лаборатории ГУ НИИ питания РАМН, ГУ НИИЭМ им. Н. Ф. Гамалеи РАМН, НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А. Н. Сысина РАМН, ГУ НИИ вирусологии им. Д. И. Ивановского РАМН, ГУП МГЦД, ФГУЗ ЦНИИЭ Роспотребнадзора [3].

Концентрат коллоидного раствора наноразмерных частиц серебра представляет собой подвижную жидкость темно-бурого цвета без запаха. Основным действующим началом материала являются наночастицы коллоидного металлического серебра (Ag) средним размером 10 нм. Их содержание в продукте 0,27 мг/мл.

Продукт содержит в качестве стабилизатора поверхностно активное вещество (ПАВ) диоктилдисульфосукцинат натрия, представляющий собой разрешенную согласно СанПиН 2.3.21078–01 пищевую добавку Е-480 в количестве 17,7 мг/мл. Присутствующее в составе продукта ПАВ является необходимым вспомогательным компонентом, стабилизирующим коллоидную дисперсию и препятствующим агрегации наночастиц. Остальную часть продукта составляет дистиллированная вода [3].

Для испытаний был взят 10%-ный рабочий коллоидный раствор наноразмерных частиц серебра и пропитанные по способу «вакуум-атмосферное давление» образцы древесины сосны и осины.

Итоговый протокол испытаний вымываемости препарата «AgБион-2»

Порода древесины	Общее поглощение защитного средства q_2 , кг/м ³	Масса вымывшегося защитного средства или компонента $m \cdot 10^{-8}$, кг	Относительное количество вымывшегося защитного средства $M \cdot 10^{-4}$, кг/м ³	Степень условной вымываемости защитного средства $\beta \cdot 10^{-3}$, %	Оценка защитного средства по вымываемости
При оптимальной температуре ((20 ± 2)°C)					
Сосна	25,86	9,085	4,85	1,87	< 10% – невымываемые
Осина	19,30		4,85	2,51	
При высокой температуре ((80 ± 5)°C)					
Сосна	30,47	50,176	55,49	18,21	< 10% – невымываемые
Осина	23,24		57,01	24,53	

В ходе испытаний были определены основные показатели: пропиточная емкость образцов древесины, или общее поглощение защитного средства, q , кг/м³, которое рассчитывается по формуле (1); относительное количество вымывшегося защитного средства M , кг/м³, которое рассчитывается по формуле (2); степень условной вымываемости защитного средства β , % (формула (3)); расчет всех показателей был произведен в соответствии с ГОСТ Р 50241–92 [4]:

$$q = \frac{m_1 - m}{V}, \quad (1)$$

где m_1 – масса 10 образцов древесины после пропитки, кг; m – масса 10 образцов древесины до пропитки, кг; V – объем 10 образцов древесины, м³;

$$M = \frac{m'_1 + m'_2 + \dots + m'_i}{V}, \quad (2)$$

где m'_1, m'_2, \dots, m'_i – масса вымывшегося компонента, кг; V – объем образцов, подвергшихся вымыванию, м³;

$$\beta = \frac{M_{\text{ср}}}{q_2} \cdot 100, \quad (3)$$

где $M_{\text{ср}}$ – среднее относительное количество вымывшегося защитного средства, кг/м³; q_2 – общее поглощение защитного средства, кг/м³.

Итоговый протокол испытаний вымываемости коллоидного раствора наноразмерных частиц серебра марки «AgБион-2» представлен в таблице.

Закключение. По результатам испытаний при температуре (20 ± 2)°C можно сделать выводы, что оценка защитного средства по степени условной вымываемости для древесины сосны составляет 1,87 · 10⁻³%, для древесины осины – 2,51 · 10⁻³%. Данные значения составляют менее 1%, что позволяет отнести коллоидный раствор наноразмерных частиц серебра марки «AgБион-2» к невымываемым защитным средствам согласно ГОСТ Р 50241–92.

При вымывании горячей водой ((80 ± 5)°C), можно считать исследуемый препарат также невымываемым, потому что степень его условной вымываемости составляет 18,21 · 10⁻³% для образцов сосны и 24,53 · 10⁻³% для образцов осины. Следовательно, препарат пригоден для использования в жестких условиях эксплуатации и не будет подвержен вымыванию при регулярном и продолжительном воздействии высоких температур и постоянной влажности.

Литература

1. Получение и свойства наноразмерных дисперсных материалов и композитов на их основе / С. Н. Степин [и др.] // Вестник Казанского технологического университета. 2013. № 14. С. 86.
2. Стенина Е. И., Ваулина И. А., Оберюхтина Н. А. Изучение физико-механических свойств ДСтП, модифицированных наноразмерным серебром // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: Труды XI Международного евразийского симпозиума, Екатеринбург, 25–28 мая 2016 г. Екатеринбург, 2016. С. 95–99.
3. Ананян М. А. Наночастицы серебра (коллоидное серебро, наносеребро) – дезсредство нового поколения [Электронный ресурс] // Институт нанотехнологий МФК [сайт]. 2016. URL: http://www.nanotech.ru/pages/about/ag_part.htm (дата обращения: 05.09.2016).
4. ГОСТ Р 50241–92. Средства защитные для древесины. Экспресс-метод испытания вымываемости. М.: Изд-во стандартов, 1994. 8 с.

References

1. Stepin S. N., Katnov V. E., Petrovina M. S., Vakhitov T. R. Production and properties of nano-sized particulate materials and composites on their base. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Journal of Kazan Technological University], 2013, no. 14, p. 86 (In Russian).

2. Stenina E. I., Vaulina I. A., Oberyuhtina N. A. Study of the physical and mechanical properties of particleboard modified with nanoscale silver. *Derevoobrabotka tekhnologii oborudovanie menedzhment 21 veka: Trudy 11 Mezhdunarodnogo evraziiskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipments, twenty-first century management: proceedings of the 11 International Eurasian Symposium]. Ekaterinburg, 2016, pp. 95–99 (In Russian).

3. Ananyan M. A. Silver nanoparticles (colloidal silver, nanosilver) – a new generation of disinfectants 2016. URL: http://www.nanotech.ru/pages/about/ag_part.htm (accessed: 09.05.2016).

4. GOST 50241–92. Means the for protection of wood. Express-test for leachability evaluation. Moscow, Standards Publishing House, 1994. 8 p. (In Russian).

Информация об авторах

Стенина Елена Ивановна – кандидат технических наук, доцент кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: sten_elena@mail.ru.

Чеснокова Татьяна Юрьевна – магистрант кафедры инновационных технологий и оборудования деревообработки. Уральский государственный лесотехнический университет (620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, Российская Федерация). E-mail: maxa071@yandex.ru.

Information about the authors

Stenina Elena Ivanovna – PhD (Engineering), Assistant Professor of the Department of Innovative Technologies and Equipment for Woodworking. Ural State Forest Engineering University (37, Sibirskiy trakt, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation). E-mail: sten_elena@mail.ru.

Chesnokova Tatiana Yur'evna – Master's degree student of the Department of Innovative Technologies and Equipment for Woodworking. Ural State Forest Engineering University (37, Sibirskiy trakt, Ekaterinburg, 620100, Russian Federation). E-mail: maxa071@yandex.ru.

Поступила 15.11.2016

УДК 674.093.26

**Е. В. Коробко¹, Е. А. Баштовая¹, И. М. Харламова¹,
М. А. Барташевич¹, Л. В. Игнатович²**

¹Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова
Национальной академии наук Беларуси

²Белорусский государственный технологический университет

ВЛИЯНИЕ ДИСПЕРСНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ И ВНЕШНИХ ПОЛЕЙ НА ТЕКУЧЕСТЬ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КЛЕЕВЫХ КОМПОЗИЦИЙ ДЛЯ ФАНЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ

Проведены измерения вязкости и исследование изменения во времени ее величин для клеевых композиций на основе карбамидоформальдегидной смолы марки КФ-НФП без наполнителя и с наполнителями (аэросил, диатомит) при воздействии на них электрического и магнитного полей. Исследования являются продолжением экспериментов по определению оптимального клеевого состава при изготовлении фанерной продукции. Установлено, что воздействие электрического поля на текучесть клеевой композиции оказывается наибольшим при использовании частиц диатомита по сравнению с применением аэросила, при этом отсутствует изменение показателей клеевой основы. Воздействие магнитного поля приводит к изменению текучести как наполненных, так и ненаполненных клеевых составов. Обработка внешними полями клеевых композиций с различными наполнителями дает возможность управлять текучестью клеевых составов, что может быть использовано при оптимизации режимных параметров технологического процесса склеивания пластов фанеры.

Ключевые слова: карбамидоформальдегидная смола, диатомит, аэросил, вязкость, электрическое поле, магнитное поле.

**E. V. Korobko¹, E. A. Bashtovaya¹, I. M. Kharlamova¹,
M. A. Bartashevich¹, L. V. Ignatovich²**

¹A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute
of the National Academy of Sciences of Belarus

²Belarusian State Technological University

THE IMPACT OF THE PARTICULATE FILLER AND EXTERNAL FIELDS ON THE FLUIDITY OF MODIFIED ADHESIVE COMPOSITIONS FOR PLYWOOD PRODUCTS

The measurements of viscosity and the study of its changing over time values for adhesive compositions based on urea-formaldehyde resin KF-NFP without filler and with fillers (Aerosil, diatomaceous earth) when exposed to electric and magnetic fields are carried out. Studies are a continuation of experiments to determine the optimum adhesive composition in the manufacture of plywood production. It is found that the effect of the electric field on the fluidity of the adhesive composition is the greatest when using diatomite particles over the use of Aerosil, with no change in the adhesive performance basis. Exposure to a magnetic field causes a change in fluidity as the filled and unfilled adhesive compositions. Processing of external fields of adhesive compositions with various fillings enables to control fluidity of adhesives that can be used to optimize the mode parameters of plywood layers gluing process.

Keywords: urea-formaldehyde resin, diatomite, aerosil, viscosity, electrical field, magnetic field.

Введение. Фанера общего назначения находит широкое применение в столярно-строительном и мебельном производстве Республики Беларусь и за ее пределами. В качестве связующего при формировании пакетов пластов древесины часто используются термореактивные смолы, применение которых в деревообработке определяет эксплуатационные характеристики выпускаемой фанерной продукции. К основным эксплуатационным характеристи-

кам фанерной продукции относят физико-механические (прочностные), теплофизические, экологические и другие показатели.

Известно, что карбамидоформальдегидная смола марки КФ-НФП, которая составляет основу клеевой композиции, чувствительна к влиянию магнитного поля [1]. Используемые наполнители не реагируют на магнитное воздействие, но обладают заметной поляризуемостью в электрических полях [2, 3]. Поэтому они

и были применены при изучении воздействия внешнего электрического поля на текучесть клеевых композиций, что в свою очередь напрямую связано с параметрами технологического процесса производства.

Основная часть. Определялось влияние электрического и магнитного полей на текучесть (показатель, обратный вязкости) клеевых композиций на основе карбамидоформальдегидного клея, модифицированного наполнителями. Клеевые композиции представлены тремя составами: клеевая композиция с наполнителем диатомитом (далее КК-Д), клеевая композиция с наполнителем аэросилом (далее КК-А), клеевая композиция без наполнителя (далее КК). Составы исследуемых материалов представлены в табл. 1.

Таблица 1
Составы клеевых композиций

Тип клеевой композиции	Смола КФ-НФП, мас. %	Отвердитель сульфат аммония, мас. %	Наполнитель	
			Диатомит, удельная поверхность 20 м ² /г, мас. %,	Аэросил, удельная поверхность 300 м ² /г, мас. %
КК-Д	92	2	6	0
КК-А	96	2	0	2
КК	98	2	0	0

На основании проведенных предварительных исследований нами были выбраны оптимальные режимные параметры обработки электрическим и магнитным полем клеевых композиций (табл. 2).

Таблица 2
Режимные параметры предварительной обработки клеевых составов электрическим полем

Номер опыта	Напряженность электрического поля E, В/см	Предварительное время выдержки, ч	Состав
1	0	0	КК-Д
2	2500	4	КК-Д
3	0	0	КК-А
4	2500	4	КК-А
5	0	0	КК
6	2500	4	КК

Влияние электрического поля. Вышеуказанные составы подвергали воздействию электрического поля в плоской ячейке, в которой зазор между электродами составлял 4 см. Предварительное время выдержки в электрическом поле и его напряженность были одинаковыми для всех образцов.

Исследуемое вещество помещалось в плоскую стеклянную емкость, расположенную между электродами конденсатора. На один из них подавалось постоянное электрическое напряжение от высоковольтного источника, второй электрод заземлялся. Измерение условной вязкости проводилось при помощи проточного вискозиметра ВЗ-246 с диаметром сопла 4 мм по ГОСТ 9070–75 при комнатной температуре (20–22°C). Условная вязкость представляет собой отношение времени истечения 200 мл вещества ко времени истечения такого же объема дистиллированной воды при определенных температурах. Поскольку все опыты проводились при одной комнатной температуре, то для сравнительной оценки текучести по показаниям условной вязкости сравнение результатов осуществлено по абсолютному значению времени истечения клеевых композиций.

Прежде всего измеряли время истечения из воронки образца клеевой композиции до обработки электрическим полем, затем сразу после воздействия в течение определенного времени выдержки в электрическом поле и далее через равные промежутки времени в диапазоне 0–5 ч. В этом же временном режиме оценивалась и контрольная проба (без обработки полем) такого же образца. Результаты влияния электрического поля на изменение условной вязкости клеевых составов во времени представлены на рис. 1.

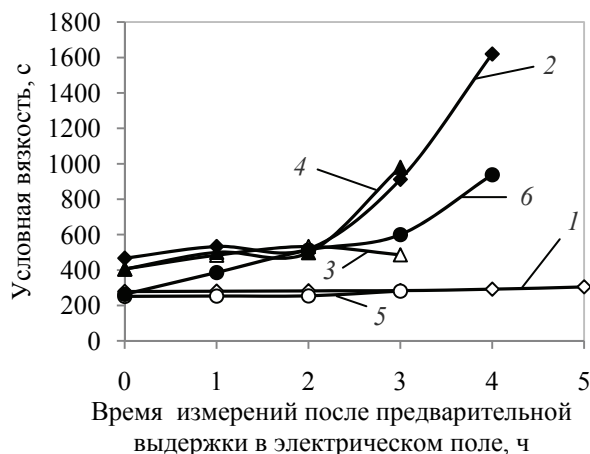


Рис. 1. Изменение условной вязкости клеевых композиций во времени после предварительной выдержки в электрическом поле:
1 – опыт № 1; 2 – опыт № 2; 3 – опыт № 3;
4 – опыт № 4; 5 – опыт № 5; 6 – опыт № 6

При измерениях зафиксировано увеличение вязкости для всех составов клеевой композиции сразу же после отключения электрического поля. Так, вязкость состава КК-Д после предварительной выдержки в электрическом поле сразу увеличилась на 67% (кривая 2, рис. 1, точка на оси ординат) по сравнению с показателем для

необработанного полев образца (кривая 1, рис. 1). Через два часа наблюдался рост вязкости во времени, обусловленный, как предполагается, в основном, действием отвердителя в системе. Однако следует отметить, что образец клеевой композиции № 6, не содержащий дисперсный наполнитель, густеет позже – только через три часа после отключения электрического поля, т. е. наполнитель ускоряет процесс загустевания после определенного критического значения времени, намного превышающего нормативные параметры технологии склеивания пластов древесины. Так, для пятислойной стопки фанеры при давлении 1,2–1,5 МПа и температуре прессования 115–130°C время выдержки составляет 3,5 мин.

После 4 ч измерений величина условной вязкости данной клеевой композиции достигла значения 1620 с, что значительно превышает требуемые показатели при ее применении в производстве фанеры.

Для состава клеевой композиции с аэросилом КК-А начальная условная вязкость после воздействия электрическим полем (кривая 4, рис. 1) имеет величину большую, чем клеевой состав КК-Д (кривая 2, рис. 1). Клеевой состав КК-А не изменил свою вязкость в течении $t < 2$ ч после отключения поля (увеличение всего на 0,2%) по сравнению с необработанным составом (кривая 3, рис. 1). При сравнении изменений зависимостей условной вязкости от времени для клеевых составов КК-Д и КК-А (кривые 2 и 4, рис. 1), обработанных полем, видно, что они сходны между собой.

Предварительная выдержка в электрическом поле состава КК не дала заметных изменений вязкости при $t < 3$ ч – после выключения поля вязкость клеевого состава КК увеличилась всего на 4,7% по сравнению с необработанным составом (кривая 5, рис. 1). Далее наблюдается ее плавный рост во времени, меньший, чем для составов клеевой композиции, содержащей наполнителя.

Влияние магнитного поля. Клеевые составы, указанные в табл. 1, были подвергнуты воздействию постоянного магнитного поля. Напряженность магнитного поля в экспериментах составила 400 и 600 кА/м, время выдержки было одинаковым – 30 мин.

Составы клеевых композиций и режимные параметры их предварительной обработки магнитным полем представлены в табл. 3.

Исследование влияния магнитного поля на текучесть клеевых составов проводилось в том же режиме оценки, что и в эксперименте с электрическим полем. На рис. 2–4 представлены полученные результаты.

Предварительная выдержка в магнитном поле как при напряженности 400 кА/м, так и при 600 кА/м не повлияла на изменение начальной

вязкости клеевого состава с диатомитом (КК-Д) (показатели на оси ординат кривых 2 и 3, рис. 2). К концу проведения эксперимента вязкость этих же составов увеличилась на 28 и 33,6% соответственно по сравнению с данными для необработанных полев составов (кривая 1, рис. 2).

Таблица 3

Составы клеевых композиций и режимные параметры их предварительной обработки магнитным полем

Номер опыта	Напряженность магнитного поля h , кА/м	Время выдержки, мин	Состав
1	0	0	КК-Д
2	400	30	КК-Д
3	600	30	КК-Д
4	0	0	КК-А
5	400	30	КК-А
6	600	30	КК-А
7	0	0	КК
8	400	30	КК

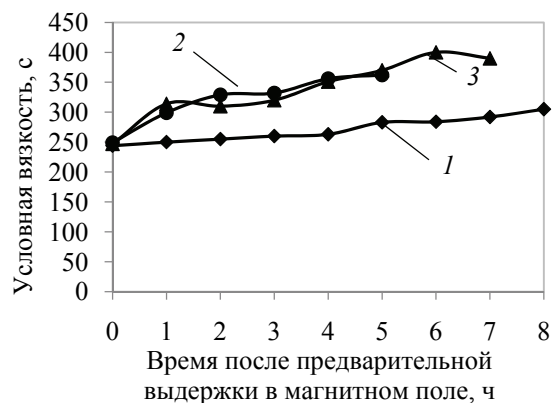


Рис. 2. Изменение условной вязкости клеевой композиции КК-Д во времени после предварительной выдержки в магнитном поле: 1 – опыт № 1; 2 – опыт № 2; 3 – опыт № 3

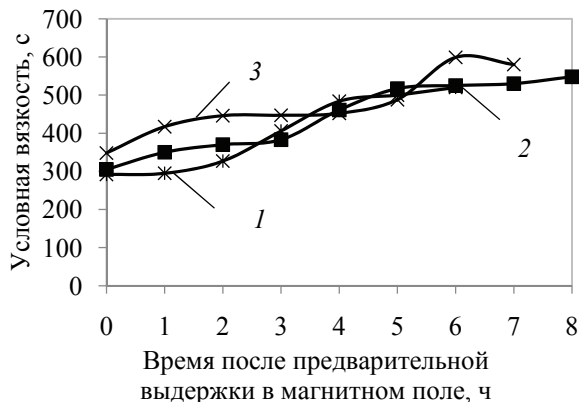


Рис. 3. Изменение условной вязкости клеевой композиции КК-А во времени после предварительной выдержки в магнитном поле: 1 – опыт № 4; 2 – опыт № 5; 3 – опыт № 6

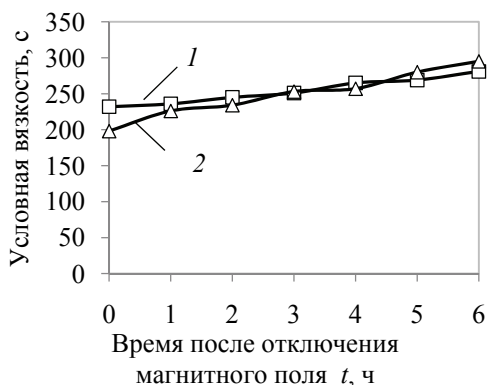


Рис. 4. Изменение условной вязкости клеевой композиции КК во времени после предварительной выдержки в магнитном поле: 1 – опыт № 7; 2 – опыт № 8

Также следует отметить, что увеличение напряженности магнитного поля с 400 до 600 кА/м практически не повлияло на изменение вязкости клеевого состава КК-Д.

После предварительной выдержки клеевого состава КК-А в магнитном поле напряженностью 400 кА/м не наблюдается изменения начального значения вязкости. К концу проведения эксперимента вязкости обработанного и необработанного составов практически совпадают (изменение ≈1%; опыты № 5 и 4, рис. 3).

После обработки состава КК-А магнитным полем напряженностью 600 кА/м вязкость сразу увеличилась на 19% по сравнению с необработанным составом (кривые 2, 3, рис. 3). К концу проведения эксперимента вязкость состава увеличилась на 15,2% по сравнению с необработанным составом КК-А. Также как и для КК-Д, наблюдается увеличение условной вязкости клеевого состава КК-А в зависимости от величины приложенной напряженности магнитного поля, однако по сравнению с влиянием электрического поля этот прирост в несколько раз меньше.

Для клеевой композиции без наполнителя КК наблюдалась тенденция незначительного снижения условной вязкости (на 14,6%) сразу после выключения магнитного поля напряженностью 400 кА/м (рис. 4). Затем наблюдался ее постепенный рост, и через 3 ч после воздействия поля вязкость обработанного образца достигла вязкости необработанного. В конце эксперимента вязкость обработанного состава КК увеличилась незначительно (5%) по сравнению с необработанным образцом.

На рис 5 а, б для сравнения показано влияние наполнителя на изменение вязкости клеевой композиции во времени после воздействия магнитным полем напряженностью 400 кА/м (рис. 5, а) и 600 кА/м (рис. 5, б) в течение 30 мин.

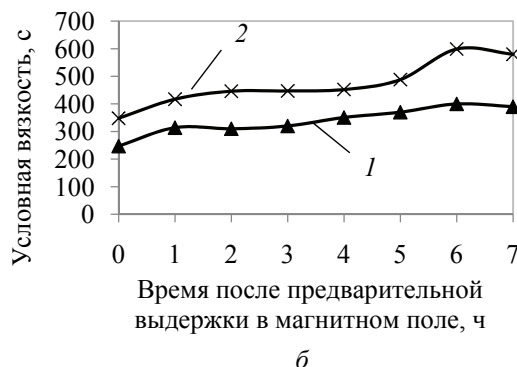
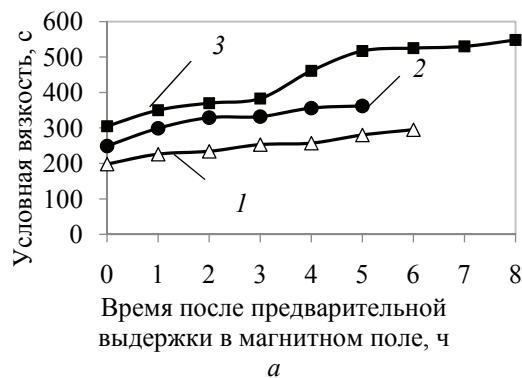


Рис. 5. Изменение условной вязкости клеевых композиций во времени после предварительной выдержки в течение 30 мин в магнитном поле напряженностью: а – 400 кА/м: 1 – опыт № 8; 2 – опыт № 2; 3 – опыт № 5; б – 600 кА/м: 1 – опыт № 3; 2 – опыт № 6

Анализируя полученные графики, можно сделать вывод, что наполнитель аэросил вносит больший вклад в увеличение условной вязкости всей клеевой композиции, чем наполнитель диатомит, что, видимо, связано с значительно большей величиной удельной поверхности частиц КК-А. В начале эксперимента вязкость клеевых составов КК-Д и КК-А после выдержки в магнитном поле напряженностью 400 кА/м выше на 25,7 и 54% соответственно (кривые 2 и 3, рис. 5, а) по сравнению с вязкостью клеевого состава без наполнителя КК (кривая 1, рис. 5, а). К концу эксперимента значения вязкости увеличились на 30 и 85% соответственно по сравнению с вязкостью клеевого состава КК в этой же точке времени. Что касается вязкости клеевого состава КК-А после выдержки в магнитном поле напряженностью 600 кА/м, то в начале и в конце эксперимента она возросла на 41 и 49% соответственно (кривая 2, рис. 5, б) по сравнению с клеевым составом КК-Д.

Заключение. Проанализировав экспериментальные данные по влиянию предварительного воздействия внешних полей на условную вязкость клеевых композиций, используемых в производстве фанеры, можно сделать вывод о том, что клеевой состав с наполнителем

диатомитом (КК-Д) значительно увеличил свою вязкость после выдержки в электрическом поле, в отличие от клеевых составов КК-А и КК. Сравнивая изменение вязкости обработанных полями составов, можно сделать вывод о том, что электрическое поле в большей степени воздействует на наполнитель диатомит, чем на наполнитель аэросил и саму клеевую основу.

Обработка магнитным полем наполненных составов (КК-Д и КК-А) привела к увеличению вязкости клеевой композиции как за счет изменения вязкости основы (смола марки КФ-НФП), так и за счет изменения ее взаимодействия с частицами наполнителя. При этом абсолютные значения прироста вяз-

кости в магнитном поле намного меньше, чем в электрическом.

Результаты проведенных экспериментов показали, что использование диатомита как более дешевого аналога аэросила в качестве наполнителя клеевой композиции способствует увеличению вязкости и тиксотропных свойств, что позволит снизить ее вытекание между пластинами древесины при склеивании фанеры. Этот результат, при прочих равных показателях, позволит улучшить качество конечного изделия. Особенности воздействия электрического и магнитного поля на текучесть клеевой композиции позволяют при необходимости варьировать характеристиками клея при корректировке режимов технологического процесса.

Литература

1. Иванов А. В. Повышение прочности клеевых соединений древесины путем воздействия на клей магнитным полем: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Воронеж, 2010. 20 с.
2. Korobko E. V., Novikova Z. A., Sermyazhko E. S., Murashkevich A. N., Eshenko L. S. Time Stability Studies of Electrorheological Response of Dispersions with Different Types of Charge Carriers // *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*. 2015. Vol. 26, No. 14. P. 1782–1788.
3. Korobko E. V., Novikova Z. A., Zhurauski M. A. Magnetorheological Fluids with Two-Component Dispersed Phase // *Journal of Physics: Conference Series*. 2015. Vol. 602. P. 12–33.

References

1. Ivanov A. V. *Povyshenie prochnosti kleevykh soedineniy drevesiny putyom vozdeystviya na kley magnitnym polem: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Increasing of strength of wood's adhesive joints by exposing the adhesive magnetic field: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Voronezh, 2010. 20 p.
2. Korobko E. V., Novikova Z. A., Sermyazhko E. S., Murashkevich A. N., Eshenko L. S. Time stability studies of electrorheological response of dispersions with different types of charge carriers. *Journal of Intelligent Material Systems and Structures*, 2015, vol. 26, no. 14, pp. 1782–1788.
3. Korobko E. V., Novikova Z. A., Zhurauski M. A. Magnetorheological fluids with two-component dispersed phase. *Journal of Physics: Conference Series*, 2015, vol. 602, pp. 12–33.

Информация об авторах

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

Баштовая Елена Айзиковна – научный сотрудник лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: eleba@rambler.ru

Харламова Инга Михайловна – младший научный сотрудник лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: gri-inga@yandex.ru

Барташевич Михаил Александрович – инженер-технолог 1-й категории лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: micbart27@gmail.com

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by

Information about the authors

Korobko Evgeniya Victorovna – DSc (Engineering), Professor, Head of the Laboratory of Rheophysics 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

Bashtovaya Elena Ayzikovna – Researcher of the Laboratory of Rheophysics 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: eleba@rambler.ru

Kharlamova Inha Mikhaylovna – Junior Researcher of the Laboratory of Rheophysics 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: gri-inga@yandex.ru

Bartashevich Mikhail Aleksandrovich – technology engineer of the first category of the Laboratory of Rheophysics 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: micbart27@gmail.com

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of 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

Поступила 11.11.2016

ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

УДК 536.24

В. Б. Кунтыш, А. Б. Сухоцкий

Белорусский государственный технологический университет

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛОТДАЧИ ПЛАСТИЧЕСКИМ РАСЧЛЕНЕНИЕМ НАКАТНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ РЕБЕР БИМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ТРУБ В ПОТОКЕ ВОЗДУХА

Приведены результаты экспериментального исследования средней приведенной теплоотдачи и аэродинамического сопротивления шестирядного шахматного пучка из труб с накатными спиральными рассеченными на короткие пластинки алюминиевыми ребрами. Трубный пучок снаружи обтекается вынужденным перпендикулярным потоком воздуха. Ребра накатаны на стальной несущей трубе диаметром 25 мм, наружный диаметр ребра – 56 мм, коэффициент оребрения – 15,23. Подобные трубы применяются в калориферах лесосушильных камер, в воздухонагревателях сушильной части бумаго- и картоноделательных машин, в аппаратах воздушного охлаждения химической, нефтехимической промышленности. Ребристые трубы расположены в решетках по вершинам равностороннего треугольника с шагом 58 мм.

Для интенсификации теплоотдачи применен способ разрушения пограничного слоя воздуха на ребрах с созданием вихревого режима его движения в межреберных каналах. Реализация способа осуществлена радиальной рассечкой каждого ребра на высоту 4,5 мм дисковой фрезой с углом заточки зубьев 30°. В результате образовались короткие пластинки дугообразной формы, равномерно расположенные по окружности ребра.

Средняя теплоотдача пучка из труб с интенсифицированными ребрами увеличилась по сравнению с пучком со сплошными ребрами на 13% при опережающем росте аэродинамического сопротивления на 28%. Опыты проведены в интервале числа Рейнольдса от 4500 до 25 000.

Ключевые слова: биметаллическая труба, алюминиевое спиральное ребро, нагрев воздуха, теплоотдача, аэродинамическое сопротивление, шахматный пучок.

V. B. Kuntysh, A. B. Sukhotskiy

Belarusian State Technological University

INTENSIFICATION OF THE CONVECTIVE HEAT EXCHANGE BY THE PLASTIC DISMEMBERING OF ROLLING ALUMINIUM RIBS OF BIMETALLIC TUBES IN AIR STREAM

The results of an experimental research of the average resulted convective heat exchange and aerodynamic resistance of a six-row chess bunch of tubes with rolling spiral divided into short plates aluminium ribs are provided. The tube bunch is outside flowed round by the forced perpendicular stream of air. Ribs are rolled on a steel bearing pipe of 25 mm in diameter, the outside diameter of a rib is 56 mm, ribed factor is 15.23. Similar tubes are applied in hot-air heaters wood-dryer chambers, in hot-blast stoves dryer parts paper and cardboard machines, in apparatuses of air cooling in chemical, petrochemical industris. Ribbed tubes are in lattices on apexes of an equilateral triangle with step of 58 mm.

The way of destruction of a boundary layer of air is applied to ribs with creation of an eddy flow of its traffic in intercostal channelsa to intensify convective heat exchange . The implementation of the way is carried out by the radial cut of each rib at the hight on altitude of 4.5 mm by a side milling cutter with an angle of rounding-off shoulder of teeths of 30°. As a result the short plates of the bow-shaped form which has been in regular intervals had on a round of a rib were formed.

The average convective heat exchange of a bunch of pipes with the intensified ribs increased in comparison with a bunch with continuous ribs by 13% at the leading growth of an aerodynamic resistance on 28%. Experiences are spent in the interval Reynolds number from 4,500 to 25,000.

Keywords: bimetallic tube, aluminium spiral rib, air heating, convective heat exchange, aerodynamic resistance, chess bunch.

Введение. Биметаллические ребристые трубы (БРТ) с накатными алюминиевыми ребрами, обтекаемые снаружи поперечным потоком воздуха, применяются в калориферах лесосушильных камер, сушильной части бумаго- и картоноделательных машин, в устройствах для сушки обоев и иных теплотехнологических установках. Отдельная область применения БРТ – это аппараты воздушного охлаждения (АВО) технологических продуктов химической, нефтехимической, газовой промышленности, на выпуск и ремонт которых расходуется свыше полутора миллиона метров таких труб [1] ежегодно.

Основные достоинства БРТ – технологичность в серийном изготовлении, коррозионная стойкость алюминия к воздействию внешней среды, возможность получения ребра в широком диапазоне изменения геометрических параметров. Общим недостатком теплообменников, трубные пучки которых состоят из БРТ, является низкий коэффициент теплоотдачи $\alpha \approx 30\text{--}90 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ по воздушной стороне, что предопределяет их значительные габариты и металлоемкость. Основным способом улучшения массогабаритных характеристик является интенсификация конвективного теплообмена, обеспечивающая повышение тепловой эффективности БРТ, выражающееся в росте коэффициента теплоотдачи при неизменных затратах мощности на прокачку потока воздуха через трубный пучок.

Для интенсификации теплоотдачи поперечнообтекаемых пучков из БРТ наиболее применение получил метод разрушения и обновления пограничного слоя воздуха на боковой поверхности ребра, его турбулизации и непрерывного вихреобразования в межреберных каналах [2]. Для практической реализации метода применено пластическое расчленение ребра на всю высоту [2–5] по окружности с образованием отдельных коротких пластинок (лепестков) в форме знака «интеграл». Концы каждого лепестка отогнуты в противоположные стороны. При такой рассечке не происходит удаление металла ребра, как это имело место в [6]. Линия расчленения ребер располагалась как вдоль продольной оси трубы и составляла с плоскостью поперечных ребер угол $\gamma = 90^\circ$, так и винтообразно с углом $\gamma < 90^\circ$. Отогнутые относительно боковой плоскости ребра концы лепестков играют роль турбулизаторов потока воздуха с образованием отрывной области сзади них. На расчлененных ребрах сплошность пограничного слоя нарушается, он вновь формируется и обновляется, а также турбулируется. В межреберных полостях наблюдается непрерывное вихреобразование. Количественные эффекты интенсификации теплоотдачи и изменения аэродинамического сопротивления

пучков с расчлененными (разрезными) ребрами различны и зависят от геометрических параметров пластинок, пространственной ориентации пластинок [7] и ее отогнутых концов [8] относительно межреберной полости, формы пластинок. Но общим для всех исследованных на первом этапе пучков из БРТ явилось расчленение на полную высоту каждого сплошного ребра с образованием отдельных элементов.

Анализ течения потока в межреберных каналах выявил, что при полном расчленении ребра не достигается энергетически эффективная интенсификация теплоотдачи. В трубах происходит полное загромождение межреберных полостей отогнутыми торцами пластинок, при этом оно возрастает к основанию межреберных каналов, в которых скорость потока заметно ниже по сравнению со скоростью у вершин ребер. Перекрытые межреберные полости ограничивают движение вихрей и уменьшают воздействие их на пристеночную структуру потока. Перекрытые межреберные полости труб также являются источниками повышенной засоряемости частицами пыли, находящейся в воздухе, и уменьшают свободное сечение для движения, что вызывает дополнительный рост аэродинамического сопротивления.

Существенным технологическим недостатком явилась невозможность расчленения ребер на высоту более 5 мм [9] в серийном промышленном производстве. Исследование [10] показало, что аналогичный эффект достигается мелкой насечкой ребра на высоту $h_p \approx 2\text{--}4$ мм по винтовой линии с углом $\gamma = 30\text{--}45^\circ$. Результаты работы [8, 11] подтвердили достигнутые эффекты интенсификации. Рассечка (насечка) ребер только периферийной части способствует созданию высокотурбулизованного [12] потока воздуха в межреберных полостях труб при минимальном их загромождении. Применение периферийной насечки ребер устранило основное препятствие по внедрению этих труб в промышленное аппаратостроение, так как был разработан инструмент [13] для выполнения этой операции. Он представлял цилиндрическую кольцевую фрезу с зубьями-резцами [11], устанавливаемую на оси (валке) станок ХПРТ [14], несущей накатные диски. Операция насечки совмещена с операцией накатки ребер, не требует дополнительных затрат времени, поэтому производительность станок остается неизменной.

С учетом изложенного на Таллинском машиностроительном заводе была разработана конструкция БРТ (рис. 1) с новыми расчлененными ребрами, в которых устранена явно выраженная отогнутость концов лепестков как нежелательный элемент. При этом лепесткам при насечке ребер придается слабоизогнутая форма.

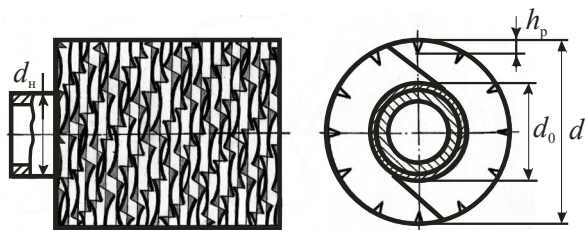


Рис. 1. Теплообменная труба с расчлененными спиральными ребрами

Цель работы – опытное исследование теплоаэродинамических характеристик труб с новой формой расчлененных ребер для оценки энергетической эффективности возникшего интенсифицированного конвективного теплообмена.

Основная часть. В качестве объекта исследования были выбраны стандартные БРТ АВО, ребра которых подвергнуты насечке (рис. 1) машинным способом на стане ХПРТ. Геометрические параметры ребер и трубы, мм: наружный диаметр ребра $d = 56$; высота, шаг и средняя толщина ребра $h = 14$, $s = 3$, $\Delta = 0,75$; диаметр трубы у основания $d_0 = d - 2h = 28$; высота расщепки $h_p = 4,5$; количество расщепок на окружности ребра $z_p = 12$; угол заточки зубьев-резцов фрезой $\beta = 30^\circ$; угол наклона плоскости расщепки к плоскости ребра $\gamma = 45^\circ$. Ребра накатаны на несущей гладкой стальной трубе с наружным диаметром $d_n = 25$ мм и толщиной стенки 2 мм. Коэффициент оребрения трубы $\phi = 15,23$. Значение ϕ вычислены по параметрам гладкого сплошного ребра.

Из труб собирался шахматный шестирядный пучок, моделирующий теплообменные секции АВО. Высота оребренной части трубы 400 мм. В решетках пучка трубы располагались в вершинах равностороннего треугольника с шагами: поперечным $S_1 = 58$ мм; продольным $S_2 = 50,2$ мм и среднедиагональным $S_2' = 58$ мм. Выбранные шаги соответствовали промышленным значениям для изучаемого типоразмера труб. Экспериментальное исследование пучка проводилось в аэродинамической трубе разомкнутого типа 400×400 мм [15] в перпендикулярном потоке воздуха. Обработка результатов наблюдений является общепринятой и изложена в [14].

Теплоотдача исследовалась локальным тепловым моделированием посредством парожидкостного калориметра кипящего типа. Труба-калориметр размещалась в середине первого, третьего и пятого поперечного ряда пучка. Опытные данные наблюдений обрабатывались в числах подобия Нуссельта (Nu_i), Рейнольдса (Re), Эйлера (Eu), значения которых вычислялись как $Nu_i = \alpha_i d_0 / \lambda$, $Re = \omega d_0 / \nu$, $Eu = \Delta p / (\rho \omega^2)$, где α_i – приведенный коэффициент теплоотдачи,

отнесенный к полной теплоотдающей площади поверхности оребрения калориметра i -го ряда, Вт/($m^2 \cdot K$); λ – коэффициент теплопроводности воздуха, Вт/($m \cdot K$); ω – скорость воздуха в сжатом поперечном сечении пучка, м/с; ν – коэффициент кинематической вязкости воздуха, m^2/s ; Δp – перепад статического давления воздуха в пучке, Па; ρ – плотность воздуха, kg/m^3 . Физические параметры воздуха λ , ν , ρ определялись по его средней температуре в пучке.

Результаты опытов экспериментальными точками приведены на рис. 2. В верхней части – теплоотдача i -х рядов, в нижней части – аэродинамическое сопротивление шести рядов пучка. Здесь же штрихпунктирными линиями нанесены соответствующие характеристики этого пучка до расщепки ребер [15].

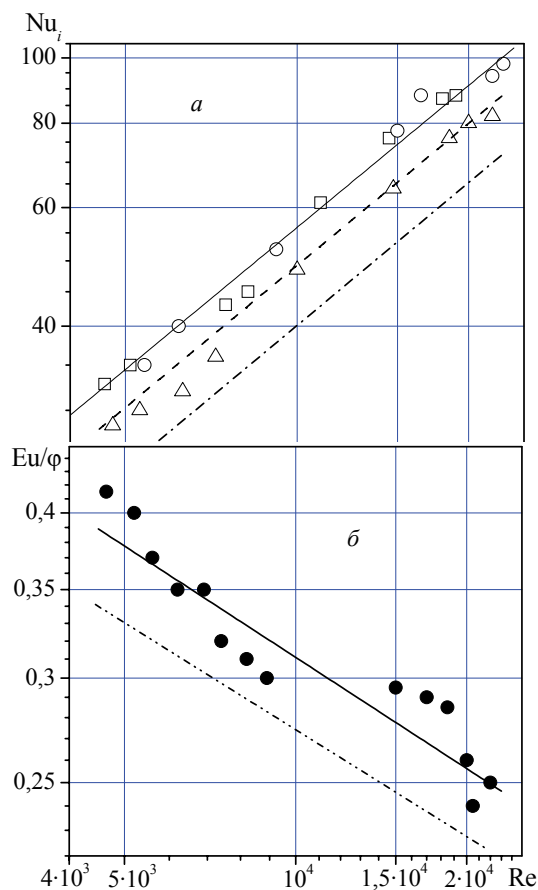


Рис. 2. Теплоотдача (а) и сопротивление (б) шестирядного пучка с расчлененными ребрами:

- Δ , \square , \circ , – опытные данные для первого, третьего и пятого рядов соответственно;
- · – ·, – – – первый, третий и пятый ряд до расщепки ребер; ● – опытные данные; – · · – до расщепки ребер

Теплоотдача i -х рядов и средняя приведенная теплоотдача пучка обобщаются уравнениями подобия:

$$Nu_i = C_i Re^{0,7}, \quad (1)$$

$$Nu = C Re^{0,7}, \quad (2)$$

где $Nu = \alpha d_0 / \lambda$; α – средний коэффициент теплоотдачи, полученный арифметическим усреднением значений α_i для $Re = const$, при этом принимали теплоотдачу второго ряда равной теплоотдаче третьего и последующих рядов [13]. Постоянная C_i для первого ряда равна 0,078, для остальных $C_i = 0,089$. Для средней теплоотдачи постоянная $C = 0,087$.

Уравнение для аэродинамического сопротивления пучка имеет вид

$$Eu = 62,4 Re^{-0,28}. \quad (3)$$

Сплошные линии на рис. 2 соответствуют уравнениям (1), (3), которые применимы в диапазоне $Re = (4,5-25) \cdot 10^3$.

Рассечка ребер привела к возрастанию коэффициента теплоотдачи каждого ряда пучка. Однако абсолютные значения прироста теплоотдачи по отношению к сплошным ребрам [15] для различных рядов отличаются. Интенсификация теплоотдачи первого ряда достигла значения в 22% и является наибольшей. Теплоотдача остальных рядов увеличилась лишь на 13%, что объясняется повысившейся степенью межтрубной турбулизации воздуха в направлении его движения. Средняя теплоотдача пучка увеличилась на 13%, а аэродинамическое сопротивление возросло на 28% и, как видно, процесс протекал со значительным опережением величины интенсификации теплоотдачи. Достигнутая интенсификация теплоотдачи от реализованной рассечки меньше в 2 раза по сравнению с периферийной насечкой (рассечкой) ребер на пластинки с отогнутыми концами [8] при приблизительно одинаковом увеличении сопротивления. Следовательно, короткие дугообразные лепестки без отгибки их концов в тепловом отношении менее эффективны. Анализ конструкции лепестков и их взаимного расположения показывает на возникновение замкнутых полостей между ними, в которых не происходит обновления потока с основной массой воздуха, движущейся в межтрубном пространстве.

Тангенс угла наклона кривых $Nu_i = f(Re)$ труб с рассеченными ребрами не изменился в сравнении с гладкими сплошными ребрами [14]. Следовательно, не произошло существенного изменения структуры пограничного слоя на ребре, несмотря на его разрушение расчленением ребра. Возникшие вихри воздуха в замкнутой межреберной полости были разрушены и не создали вихревой режим движения,

являющийся неотъемлемой частью повышения эффективности теплоотдачи при поперечном обтекании оребренных поверхностей [2]. Возможно, повлияло на этот процесс большая в 2 раза длина дуги лепестка по сравнению с дугой лепестка при периферийной насечке, так как при $d = const$ в нашем случае количество рассечек уменьшено до 12 против 24 для периферийной насечки. Для компенсации влияния этого фактора глубина рассечки ребер труб исследованного пучка увеличена до 4,5 мм против 2 мм у периферийно рассеченных ребер, т. е. в 2,25 раза. Из этого следует, что наибольший вклад в результирующий эффект интенсификации вносит длина дуги лепестка в сравнении с высотой рассечки и отогнутость концов ребер, что является неперемным условием доминирующего влияния на процесс возникновения вихревого режима движения потока воздуха.

На рис. 3 приведены результаты сравнения тепловой эффективности пучка труб с рассеченными ребрами с идентичным пучком до применения операции рассечки, т. е. труб с гладкими ребрами.

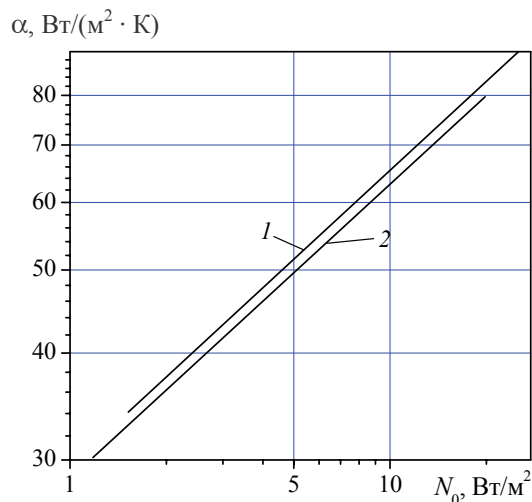


Рис. 3. Сравнение тепловой эффективности шахматных пучков:

1 – рассеченные ребра; 2 – сплошные ребра

Количественно тепловая эффективность интенсификации теплоотдачи оценивается ее коэффициентом, равным

$$\varepsilon = \alpha_i / \alpha_k, \quad (4)$$

где α_i, α_k – соответственно коэффициенты теплоотдачи i -го и k -го пучка, вычисленные при одинаковых условиях. В этом исследовании в качестве k -го пучка (базового), не подвергнутого интенсификации, принят пучок из труб с гладкими ребрами. Опытный пучок являлся i -м.

Удельную затрату мощности, Вт/м², при движении воздуха через пучок вычисляли как

$$N_0 = 0,318\psi' \frac{Eu_0}{\varphi} \rho \omega^3, \quad (5)$$

где $\psi' = \left(\frac{S_1}{d} - 1 \right) + \frac{2h}{d_0} \left(\frac{S_1}{d} - \frac{\Delta}{s} \right)$ – коэффициент,

учитывающий геометрию оребрения и компоновку пучка; $Eu_0 = Eu/z$ – число Эйлера на один поперечный ряд пучка; φ – коэффициент оребрения трубы; z – число поперечных рядов труб в пучке.

Для круглоребристых труб и ребер коэффициент оребрения

$$\varphi = 1 + \frac{2h}{s d_0} (d_0 + h + \Delta). \quad (6)$$

Расчеты для сравнения тепловой эффективности выполнены для одинаковой температуры воздуха, например $t = 50^\circ\text{C}$.

При одинаковой удельной затрате мощности $N_0 = \text{idem}$ на прокачку воздуха эффективность теплоотдачи увеличилась лишь на 6%, что значительно уступает ранее достигнутым эффектам [8, 11] на трубах, у которых концы пластинок развернуты и отогнуты по отношению к боковой поверхности круглого ребра.

Заключение. Для достижения высокой тепловой эффективности интенсификации теплоотдачи деформацией круглых ребер на короткие лепестки в поперечном потоке воздуха необходимо в межреберных полостях труб создавать вихревой режим течения формированием определенной формы концов лепестка.

Литература

1. Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б., Самородов А. В. Перевод эксплуатации аппаратов воздушного охлаждения в энергосберегающий режим. Технические решения с расчетом экономического эффекта // Химическая техника. 2014. № 6. С. 20–25.
2. Антуфьев В. М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. Л.: Энергия, 1966. 184 с.
3. Кунтыш В. Б., Иохведов Ф. М. Влияние относительной глубины межреберной полости на тепловую эффективность, теплообмен ребристых пучков труб и интенсификация теплоотдачи в них // Изв. АН СССР. Энергетика и транспорт. 1970. № 4. С. 127–136.
4. Кунтыш В. Б., Иохведов Ф. М., Таранян И. Г. Интенсификация теплоотдачи в пучках оребренных труб // Теорет. основы хим. технологии. 1973. Т. VII, вып. 4. С. 616–621.
5. Таранян И. Г., Иохведов Ф. М., Кунтыш В. Б. Исследование влияния параметров оребрения на теплоотдачу и сопротивление шахматных пучков труб с поперечными гладкими и интегральными ребрами // Теплофизика высоких температур. 1972. Т. X, № 5. С. 1049–1054.
6. Терех А. М., Шаповал О. Е., Письменный Е. Н. Среднеповерхностный теплообмен поперечно-омываемых коридорных пучков труб с разрезным спирально-ленточным оребрением // Пром. теплотехника. 2001. Т. 23, № 1–2. С. 35–41.
7. Письменный Е. Н. Теплообмен и аэродинамика пакетов поперечно-оребранных труб. Киев: Альтерпресс, 2004. 244 с.
8. Кунтыш В. Б., Пиир А. Э. Интенсификация теплоотдачи трубных пучков аппаратов воздушного охлаждения насечкой кромок спиральных накатных ребер // Изв. вузов. Энергетика. 1991. № 8. С. 111–115.
9. Кунтыш В. Б., Иохведов Ф. М., Таранян И. Г., Мирмов Н. И. Приспособление для изготовления теплообменных труб с поперечными разрезными ребрами // Технология судостроения. 1974. № 10. С. 43–45.
10. Кокорев Б. И., Вишневский В. Г. Семенов С. М., Плаксин Ю. В. Результаты исследования теплообменных труб с разрезными поперечными ребрами // Теплоэнергетика. 1978. № 2. С. 35–37.
11. Кунтыш В. Б. Интенсификация теплоотдачи шахматных пучков труб периферийной насечкой спиральных ребер // Изв. вузов. Энергетика. 1993. № 5–6. С. 111–117.
12. Письменный Е. Н., Шаповал О. Е., Терех А. М. Особенности течения на поверхности разрезного ребра // Пром. теплотехника. 2001. Т. 23, № 6–7. С. 64–67.
13. А. с. 1606213 СССР. Инструмент для обработки поперечных ребер теплообменных труб / Г. И. Шереш, К. А. Варма, Л. Э. Вийк // Бюл. изобр. 11990. № 42. С. 52.
14. Кунтыш В. Б., Пиир А. Э., Егоров А. И., Шмеркович В. М. Экспериментальное исследование теплоотдачи и сопротивления пучков АВО из биметаллических труб // Изв. вузов. Энергетика. 1977. № 12. С. 89–93.
15. Кунтыш В. Б., Кузнецов Н. М. Тепловой и аэродинамический расчеты оребренных теплообменников воздушного охлаждения. СПб.: Энергоатомиздат, 1992. 280 с.

16. Легкий В. М., Тупицын Ю. К., Письменный Е. Н. Влияние шаговых соотношений на теплоотдачу и аэродинамическое сопротивление шахматных поперечно омываемых пучков труб с внешним спирально-ленточным оребрением // Теплообмен в энергетических установках. Киев: Наук. думка. 1978. С. 78–82.

References

1. Kuntyshev V. B., Sukhotski A. B., Samorodov A. V. Transfer of maintenance of air cool apparatuses in power saving up regime. Designs with economic benefit calculation. *Himicheskaja tehnika* [Chemical technics], 2014, no. 6, pp. 20–25 (In Russian).

2. Antufyev V. M. *Efektivnost' razlichnyh form konvektivnyh poverhnostei nagreva* [Efficiency of various forms of the convective heating surfaces]. Leningrad, Energiya Publ., 1966. 184 p.

3. Kuntyshev V. B., Iohvedov F. M. Agency of relative depth of an intercostal cavity on thermal efficiency, heat exchange of ridge tube bunches and convective heat exchange intensification in them. *Izvestia Akademii nauk SSSR. Energetika i transport* [News of Academy of Sciences of the USSR. Power engineering and transport], 1970, no. 4, pp. 127–136 (In Russian).

4. Kuntyshev V. B., Iohvedov F. M., Taranian I. G. Convective heat exchange intensification in bunches ribbed tubes. *Teoreticheskie osnovy himicheskoi tehnologii* [Theoretical bases of chemical engineering], 1973. vol. 7, ex. 4, pp. 616–621 (In Russian).

5. Taranian I. G., Iohvedov F. M., Kuntyshev V. B. Research of agency of parametres ribbing on a convective heat exchange and resistance of chess tube bunches with the transverse smooth and integrated ribs. *Teplofizika vysokih temperatur* [Thermal physics of high temperatures], 1972, vol. 10, no. 5, pp. 1049–1054 (In Russian).

6. Tereh A. M., Shapoval O. E., Pis'menny E. N. Average superficial heat exchange transverse-washed alleyway tube bunches with the split spirally-tape ribbed. *Promyshlennaja teplotehnika* [Industrial heat engineering], 2001, vol. 23, no. 1–2, pp. 35–41 (In Russian).

7. Pis'meny E. N. *Teploobmen i aerodinamika paketa poperechno-orebrennyh trub* [Heat exchange and aerodynamics of packages is transverse-ribbed tubes]. Kiev, Al'terpress Publ., 2004. 244 p.

8. Kuntyshev V. B., Piir A. E. Intensification of a convective heat exchange of trumpet bunches of apparatuses of an air cooling a notch of edges spiral rolling ribs. *Izvestia vuzov. Energetika* [News of high schools. Power engineering], 1991, no. 8, pp. 111–115 (In Russian).

9. Kuntyshev V. B., Iohvedov F. M., Taranian I. G., Mirmov N. I. The adaptation for manufacturing of heat exchange tubes with the transverse split ribs. *Tehnologia sudostroenia* [Shipbuilding production engineering], 1974, no. 10, pp. 43–45 (In Russian).

10. Kokorev B. I., Vishnevski V.G., Semenov S. M., Plaksin U. V. Results of research heat exchange tubes with the split transverse ribs. *Teploenergetika* [Heat power engineering], 1978, no. 2, pp. 35–37 (In Russian).

11. Kuntyshev V. B. Intensification of a convective heat exchange of chess tube bunches a peripheral notch of spiral ribs. *Izvestia vuzov. Energetika* [News of high schools. Power engineering], 1993, no. 5–6, pp. 111–117 (In Russian).

12. Pis'meny E. N., Shapoval O. E., Tereh A. M. Features of a current on a surface of the split rib. *Promyshlennaja teplotehnika* [Industrial heat engineering], 2001, vol. 23, no. 6–7, pp. 64–67 (In Russian).

13. G. I. Sheresh, K. A. Varma, L. E. Viik. The tool for machining of the transverse ribs heat exchange tubes: certificate of authorship 1606213 USSR. *Byulleten' izobreteniy 11990* [Bulletin of the originator 11990], no. 42, p. 52 (In Russian).

14. Kuntyshev V. B., Piir A. E., Egorov A. I., Shmerkovich V. M. Experimental research of a convective heat exchange and resistance of bunches AVO from bimetallic tubes. *Izvestia vuzov. Energetika* [News of high schools. Power engineering], 1977, no. 12, pp. 89–93 (In Russian).

15. Kuntyshev V. B., Kuznecov N. M. *Teplovoi i aerodinamicheskii raschety orebrennyh teploobmenikov vozdušnogo ohlajdenia* [Thermal and aerodynamic calculations ribbed heat exchangers of air cooling]. St. Petersburg, Energoatomizdat Publ., 1992. 280 p. (In Russian).

16. Legki V. M., Tupicyn U. K., Pis'meny E. N. Influence of step-by-step parities on heat exchange and aerodynamic resistance of chess cross-section washed bunches of tubes with external spirally-tape ribbed. *Teploobmen v energeticheskikh ustanovkah* [Heat exchange in power installations], Kiev, Naukova dumka Publ., 1978, pp. 78–82 (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 энерго-сбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alk2905@mail.ru

Information about the authors

Kuntysh Vladimir Borisovich – DSc (Engineering), Professor, Professor of the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: egit@belstu.by

Sukhotskiy Al'bert Borisovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alk2905@mail.ru

Поступила 15.10.2016

УДК 536.25

А. Б. Сухоцкий, В. Н. Фарафонов, С. О. Филатов, Г. С. Сидорик
Белорусский государственный технологический университет

РАЗРАБОТКА СТЕНДА И ИССЛЕДОВАНИЕ СВОБОДНОЙ КОНВЕКЦИИ ОДИНОЧНОЙ ОРЕБРЕННОЙ ТРУБЫ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УГЛАХ НАКЛОНА

Разработан экспериментальный стенд для исследования свободной конвекции, состоящий из короба, калориметрической трубы и контрольно-измерительной аппаратуры. Опытным путем определены торцевые тепловые потери для биметаллической оребренной калориметрической трубы. Проведен эксперимент по исследованию гладкой калориметрической трубы со степенью черноты 0,66 и 0,99 и построена экспериментальная зависимость чисел Нуссельта от чисел Рейлея. Проведен эксперимент по исследованию свободной конвекции на калориметрической оребренной трубе со степенями черноты 0,66 и 0,99. Предложены расчетные формулы для учета лучистой составляющей в свободноконвективном теплообмене для оребренной калориметрической трубы. Построены экспериментальные зависимости чисел Нуссельта от чисел Рейлея для оребренной калориметрической трубы с различной степенью черноты. Проведены исследования теплоотдачи при свободной конвекции воздуха на одиночной оребренной калориметрической трубе с различными углами установки и построена экспериментальная зависимость чисел Нуссельта от чисел Рейлея. По результатам выполненных исследований были сделаны следующие выводы: разработанная экспериментальная установка позволяет качественно проводить исследования свободноконвективного теплообмена; получены расчетные зависимости, позволяющие вычислять свободноконвективный теплообмен для одиночной оребренной калориметрической трубы при различных углах наклона.

Ключевые слова: аппарат воздушного охлаждения, конвективный теплообмен, свободная конвекция, калориметрическая труба, трубчатый электронагреватель, число Нуссельта, число Рейлея, коэффициент теплоотдачи, торцевые тепловые потери.

A. B. Sukhotskiy, V. N. Farafontov, S. O. Filatov, G. S. Sidorik
Belarusian State Technological University

STAND DEVELOPMENT AND RESEARCH OF FREE CONVECTION FOR SINGLE FINNED TUBE FOR DIFFERENT RAKE ANGLE

An experimental bench for the study of free convection, consisting of boxes, calorimeter tubes and test equipment was produced. Based on experience there has determined the end the heat loss of the bimetallic calorimetric finned tube. An experiment to exam the smooth colorimetric tube with the emissivity factor 0.66 and 0.99 was conducted, and the experimental dependence of the Nusselt numbers from Rayleigh numbers has been built. An experiment on the study of free convection on a calorimeter finned tube with the degrees of blackness of 0.66 and 0.99 was held. There were proposed the formulas for recording of the radiant component of free convection heat exchange for calorimetric finned-tube. The experimental Nusselt numbers dependence on Rayleigh numbers for the calorimeter finned tubes with varying degrees of black have been built. There were conducted the test of heat exchange in free convection of air on a single finned calorimetric pipe with different angles of installation and the experimental dependence of Nusselt numbers on Rayleigh's has been built. Based on the results of the studying the following conclusions have been made: the developed experimental setup allows qualitative study of free convection heat exchange; calculated dependences allowing to calculate free convection heat transfer for single-finned calorimetric pipe at various angles have been received.

Keywords: air cooler heat exchangers, convective heat transfer, free convection, calorimetric-parameter-pipe, tubular electric heater, Nusselt number, Rayleigh number, heat transfer coefficient, end heat losses.

Введение. Свободная конвекция имеет широкий спектр применения как в природных процессах, так и в области технических и научных исследований. В настоящее время интерес к изучению свободноконвективной теплоотдачи повышается, что способствует углублению понимания физических процессов для естественной конвекции [1, 2].

В данный момент большое внимание в Беларуси уделяется проблемам ресурсо- и энергосбережения. Этот фактор способствует расширению применимости аппаратов воздушного охлаждения, работающих в режиме свободной конвекции. Областью применения свободноконвективных процессов являются химическая и нефтехимическая промышленность, металлургия,

компрессорные станции с трубопроводами, электростанции, системы охлаждения оборотной воды в установках для кондиционирования и т. д. [3, 4]. Обширная область применения свободной конвекции актуализирует исследования и обобщение теоретических и экспериментальных данных по свободноконвективным процессам.

Однако практическая реализация свободной конвекции изучена недостаточно широко в виду того, что долгое время в энергетике не проводились исследования в области свободноконвективной теплоотдачи. Они считались малоактуальными.

Теплоотдача при естественной конвекции рассмотрена для широкого диапазона геометрических параметров труб пучков для одиночных гладких труб [5], одиночных оребренных труб, однорядных и многорядных ребристых пучков [6–10].

Для достоверности выбора поверхности теплообмена, а также исследования и анализа теплоотдачи необходима безошибочная и точная оценка коэффициентов теплоотдачи. Для этого предлагаются различные критериальные уравнения, но не сложилось целостного мнения о выборе характерного размера и определяющей температуры, что в итоге ведет к различию численных значений коэффициентов теплоотдачи. Из-за сложности процессов теплообмена при свободной конвекции во многих случаях, особенно на ребристых поверхностях, где наблюдается сопряженный теплообмен, т. е. равнозначность конвективной и лучистой составляющей, невозможно применение теоретических методов описания и расчета в виду их громоздкости и недостоверности, сложности и в некоторых случаях неосуществимости. Таким образом, для описания и расчета свободноконвективной теплоотдачи применяются эмпирические критериальные уравнения.

Основная часть. Экспериментальный стенд (рис. 1) для исследования естественной конвекции состоит из камеры 1 размером $0,8 \times 0,8 \times 1$ м, в которой размещена калориметрическая труба 2.

Атмосферный воздух вокруг калориметрической трубы нагревается, а затем за счет разности плотностей горячего и холодного воздуха подымается вверх в окружающую среду. Температура на поверхности калориметрической трубы фиксируется с помощью хромель-алюмелевых термопар 7 диаметром 0,2 мм, которые через переключатель подключались к вольтметру 4 (модель В7-40/5). Температура воздуха t_0 внутри камеры измерялась двумя ртутными лабораторным термометром 5 с точностью $0,1^\circ\text{C}$. Общий для всех термопар холодный спай помещался в сосуд Дьюара 6 с тающим льдом.

В качестве калориметрической трубы применялась ребристая (или гладкая) труба длиной теплоотдающей части 300 мм, внутрь которой соосно вставлялся трубчатый электронагреватель (ТЭН) со следующими параметрами: диаметр – 12,5 мм, материал оболочки – углеродистая сталь, спираль – проволока с высоким омическим сопротивлением, наполнитель – электротехнический периклаз марки ППЭ мощностью 320 Вт. Общий вид трубчатого электронагревателя представлен на рис. 2.

Между ТЭНом и стенкой засыпался кварцевый песок дисперсным составом 0,16–0,32 мм. ТЭН подключен к регулируемому масляному трансформатору 8 (модель АОМН-40-220-75). Мощность, подводимая к трубе, измерялась ваттметром 3 (модель К 505). Торцевые участки калориметрической трубы для уменьшения потерь теплоты защищены фторопластовыми втулками наружным диаметром 45 мм, длиной 35 мм. На обеих втулках заложено по одной 6-спайной дифференциальной термобатарее.

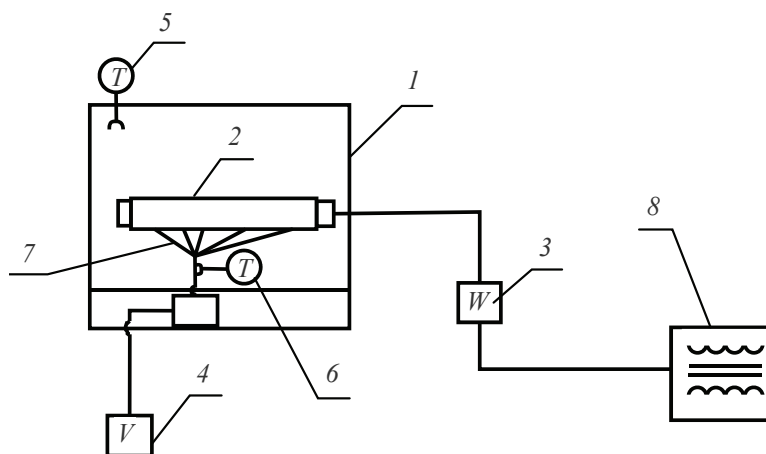


Рис. 1. Экспериментальный стенд для исследования смешанной конвекции:
1 – камера; 2 – калориметрическая труба; 3 – ваттметр; 4 – вольтметр;
5 – ртутный лабораторный термометр; 6 – сосуд Дьюара; 7 – термопары;
8 – масляный трансформатор

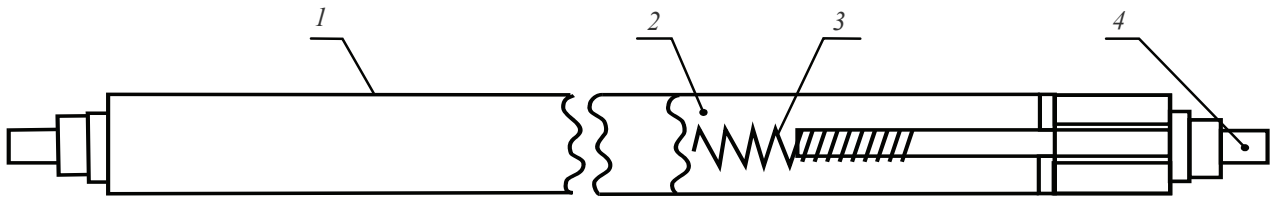


Рис. 2. Общий вид трубчатого электронагревателя:
1 – оболочка; 2 – наполнитель (электрический периклаз); 3 – спираль; 4 – втулка

При исследовании конвективных потоков возникает вопрос качественного учета торцевых потерь ребристых калориметрических труб. Для решения этой задачи использовалась гладкая стальная калориметрическая труба 25×4 мм. Величина торцевых потерь теплоты $Q_{пот}$ определялась для различных тепловых режимов по результатам предварительно поставленных опытов. Снаружи труба обматывалась изоляционным материалом (асбестовая ткань). Для контроля температуры на поверхности изоляции в средней части длины трубы закреплялись 4 термопары по периметру окружности через 90°.

В опытах по определению тепловых потерь для установившегося теплового режима измеряли: подводимую электрическую мощность W , температуру поверхности изоляции $t_{из}$, температуру наружного воздуха t_0 , ЭДС дифференциальных термопар E_1 и E_2 . С увеличением W толщину изоляции наращивали от 30 до 65 мм, добиваясь того, чтобы разность температур $(t_{из} - t_0)$ в стационарном тепловом состоянии не превышала 3–4°С. Так как этот температурный перепад незначителен, считали, что вся подводимая мощность W рассеивается через торцы трубы. Результаты эксперимента представлены на рис. 3.

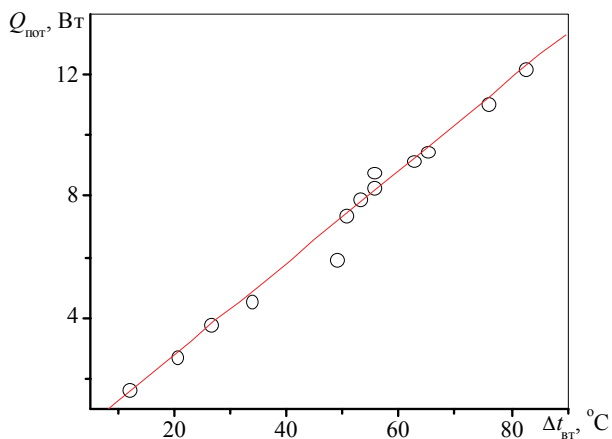


Рис. 3. Зависимость потерь на втулках от разности температур

В дальнейшем торцевые тепловые потери обребренной трубы определялись по аппроксимирующей линейной зависимости

$$Q_{пот} = -0,25764 + 0,15165 \cdot \Delta t_{вт}, \quad (1)$$

где $\Delta t_{вт}$ – потери на втулках, °С.

Для проверки достоверности полученной зависимости (1) был проведен эксперимент, в рамках которого исследовалась закопченная гладкая цилиндрическая труба 25×4 мм длиной теплоотдающей части 300 мм со степенью черноты 0,95. Вдоль трубы по периметру окружности под углом 36° было установлено 5 термопар и проведен эксперимент, в рамках которого для установившегося теплового режима измеряли: подводимую электрическую мощность W , температуру поверхности втулок $t_{вт}$, температуру наружного воздуха t_0 , среднюю ЭДС дифференциальных термопар $E_{ср}$. По результатам измерений была построена экспериментальная зависимость (рис. 4) чисел Нуссельта от чисел Рейля и проведено сравнение с данными Михеева.

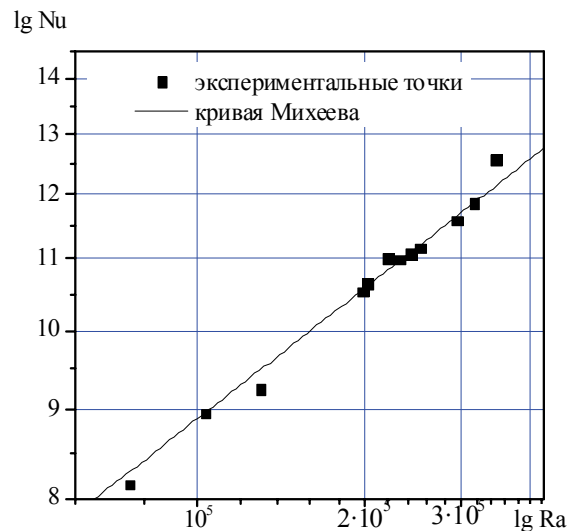


Рис. 4. Экспериментальная зависимость чисел Нуссельта от Рейля для гладкой калориметрической трубы

Из графика следует, что экспериментальные точки качественно ложатся на кривую Михеева

$$Nu = 0,5 \cdot Ra^{0,25}. \quad (2)$$

Погрешность эксперимента не превысила 3%, что говорит о том, что учет концевых потерь проведен достоверно.

Далее был проведен эксперимент по исследованию свободной конвекции на предварительно очищенной 14%-ным раствором NaOH калориметрической оребренной трубе со следующими геометрическими параметрами $d \times d_0 \times h \times s \times \Delta \times l = 56 \times 26 \times 15 \times 2,5 \times 0,5 \times 330$ мм и приведенной степени черноты $\varepsilon_{пр} = 0,66$ [11]. Для измерения средней температуры стенки $t_{ст}$ у основания ребер заложено 5 хромель-алюмелевых термопар ($d = 0,2$ мм) вдоль обрабатываемой трубы, сдвинутых относительно друг друга на 30° на половине трубы окружности, считая, что вторая половина имеет симметричное поле температур.

При нагреве калориметрической трубы некоторая часть теплоты отводится излучением, поэтому необходим учет лучистой составляющей [12], [13]. Результирующий тепловой поток излучения между калориметрической трубкой и камерой, образующими замкнутую систему, определяли по формуле

$$Q_{л} = \varepsilon_{пр} \cdot \Phi_{Т-О} \cdot c_0 \cdot F_1 \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right], \quad (3)$$

где $\varepsilon_{пр}$ – приведенная степень черноты системы тел; $\Phi_{Т-О}$ – средний угловой коэффициент излучения трубы к окружающей среде; c_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела; F_1 – площадь поверхности оребренной трубы, m^2 ; T_1 и T_2 – абсолютные температуры соответственно оребренной трубы и окружающего в камере воздуха, К.

Тепловой поток, отведенный конвекцией от трубы к окружающему воздуху, рассчитывался по уравнению

$$Q_k = W - Q_{л} - Q_{п}, \quad (4)$$

где W – электрическая мощность, подводимая к калориметру, Вт; $Q_{л}$ – тепловой поток, отведенный излучением от трубы к воздуху, Вт; $Q_{п}$ – тепловые потери через торцы труб и токопроводы, Вт.

Средний конвективный коэффициент теплоотдачи, $Вт/(m^2 \cdot K)$:

$$\alpha_k = \frac{Q_k}{F \cdot (t_{ст} - t_0)}, \quad (5)$$

где F – площадь теплоотдающей оребренной поверхности трубы, m^2 ; $t_{ст}$ – средняя температура поверхности стенки у основания ребер трубы (среднеарифметическая температура по показаниям термопар), $^\circ C$.

По завершении этой серии опытов трубу зачерняли копотью трансформаторного масла для того, чтобы она сохраняла постоянное значение приведенной черноты $\varepsilon_{пр} = 0,99$ [14]. После зачернения трубы были снова проведены исследования теплоотдачи по изложенной выше ме-

тодике. Результаты опытов приведены на рис. 5. Как видно, зависимости чисел Нуссельта от чисел Рейля для калориметрических труб с различными степенями черноты хорошо согласуются, что указывает на достоверность разработанной методики эксперимента.

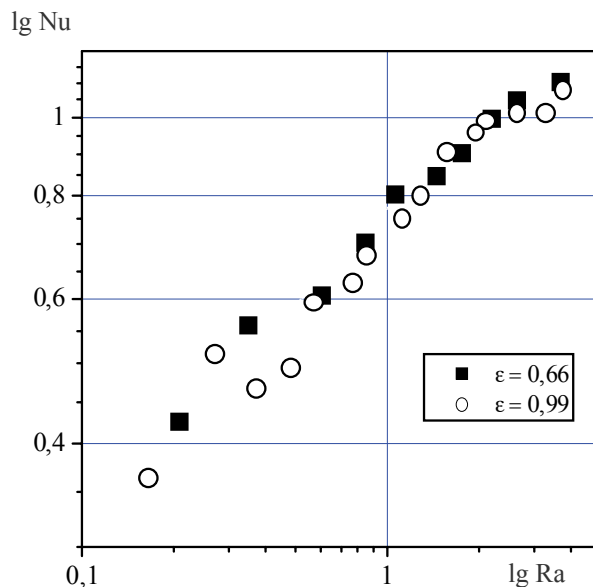


Рис. 5. Экспериментальная зависимость чисел Нуссельта от чисел Рейля для оребренной калориметрической трубы

Проведенные экспериментальные исследования показали, что созданная установка позволяет качественно проводить исследования свободноконвективного теплообмена ребристых труб воздухоохлаждаемых теплообменников.

На разработанной экспериментальной установке также были проведены исследования теплоотдачи при свободной конвекции воздуха на одиночной оребренной трубе с различными углами наклона – $0, 30, 45, 60, 90^\circ$. Во время экспериментов электрическая мощность, подводимая к оребренной трубе, изменялась в пределах $W = 10-220$ Вт, температура стенки у основания ребер составляла $t_{ст} = 32-230^\circ C$, температура окружающего воздуха в камере $t_0 = 20-24^\circ C$. Определяющей температурой для теплофизических свойств воздуха $\alpha, \lambda, \nu, \beta$ являлась температура окружающего воздуха t_0 [15]. За определяющий размер был принят диаметр трубы по основанию ребер d_0 .

Исследования показали, что для различных углов установки трубы общим является монотонный рост интенсивности теплоотдачи с увеличением числа Ra.

Из графика на рис. 6 видно, что теплоотдача оребренной трубы, установленной под углом в 30° , практически не отличается от горизонтальной. Но при этом существенно уменьшаются габариты теплообменного пучка в пространстве.

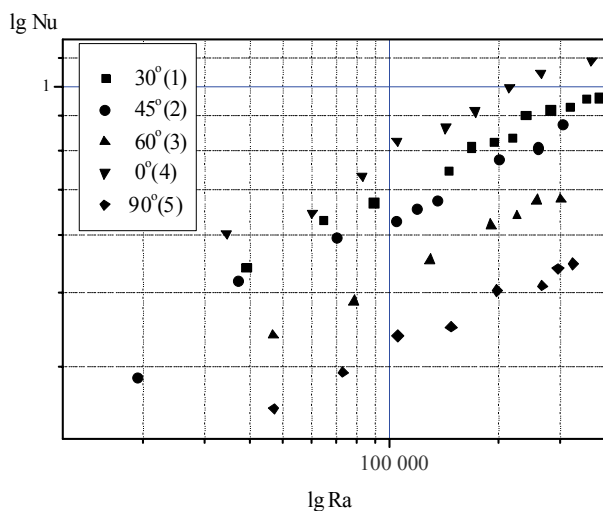


Рис. 6. Экспериментальная зависимость чисел Нуссельта от чисел Релея для оребренной калориметрической трубы с различными углами ее установки

При дальнейшем росте угла наклона происходит резкое снижение теплосъема с поверхности труб, так как режим обтекания трубы приближается к режиму обтекания вертикальной трубы, механизм теплоотдачи с поверхности которой имеет совершенно иной характер. При вертикальном расположении трубы в межреберном пространстве практически отсутствует циркуляция воздуха, и весь конвективный поток отводится с торцевой поверхности труб.

Заключение. Проведенные экспериментальные исследования показали, что созданная установка позволяет качественно проводить исследования свободноконвективного теплообмена ребристых труб воздухоохлаждаемых теплообменников.

Получены расчетные зависимости, позволяющие рассчитывать свободноконвективный теплообмен на одиночной оребренной трубе в воздухе при любых углах наклона.

Литература

1. Аппарат воздушного охлаждения: пат. 2200907 Рос. Федерация, МПК F24F 3/00 / Асадуллин М. З., Аскарлов Р. М., Гольянов А. И., Исмаилов И. Г., Мукминов А. Р., Сатиков И. Ф., Файзуллин С. М., Файзуллин А. С.; заявитель ООО «Баштрансгаз». № us 5835341, заявл. 11.03.2001; опубл. 20.03.2003 // Официальный бюллетень / Федеральный институт интеллектуальной собственности. 2003. № 8. С. 87.
2. Теплообменный аппарат типа аппарата воздушного охлаждения газа: пат. 2266488 Рос. Федерация, МПК 7 F28 D 1/02 / Лифанов В. А., Берестов В. А., Шляхов С. Б.; заявители Овчар В. Г., Даниленко В. Г., Лифанов В. А. № 2004108990/06, заявл. 26.03.2004; опубл. 20.12.2005 // Официальный бюллетень / Федеральный институт интеллектуальной собственности. 2004. № 35. С. 51.
3. Аппарат воздушного охлаждения: пат. 9446 Респ. Беларусь, МПК 7 F 24 F 3/00, F 28 D 1/00 / Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б., Миннигалеев А. Ш., Мулин В. П.; заявитель Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет». № u 20130091, заявл. 31.01.2013; опубл. 30.08.2013 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. 2013. № 9. С. 70.
4. Основы расчета и проектирования теплообменников воздушного охлаждения: справочник / под общ. редакцией В. Б. Кунтыша, А. Н. Бессонного. СПб.: Недра, 1996. 512 с.
5. Кунтыш В. Б., Бессонный А. Н. Примеры расчетов нестандартизированных эффективных теплообменников. СПб.: Недра, 2000. 300 с.
6. 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.
7. 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.
8. Мильман О. О. Экспериментальное исследование теплообмена при естественной циркуляции воздуха в модели воздушного конденсатора с вытяжной шахтой // Теплоэнергетика. 2005. № 5. С. 16–19.
9. Мачулин В. И. Теплообмен вертикального ряда труб при естественной конвекции воздуха // Холодильная техника. 1976. № 7. С. 24–25.
10. 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.
11. Самородов А. В. К расчету теплообмена излучением круглоребристых труб и пучков // Труды лесоинженерного факультета Петрозаводского гос. ун-та. 1999. Вып. 2. С. 135–142.
12. Самородов А. В. Совершенствование методики теплового расчета и проектирования аппаратов воздушного охлаждения с шахматными оребренными пучками. Автореф. дис. ... канд. техн. наук. СПбГТУ, 1999. С. 3–22.

13. Кунтыш В. Б., Марьяна З. Г., Топоркова М. А. Исследование облуженности оребренных труб аппаратов воздушного охлаждения // Изв. вузов. Энергетика. 1981. № 10. С. 119–122.

14. Самородов А. В., Рошин С. П., Кунтыш В. Б. Лучистый теплообмен одиночной ребристой трубы с окружающей средой // Охрана окружающей среды и рациональное использование природных ресурсов: сб. науч. тр. 1997. Вып. II. С. 102–113.

15. Самородов А. В., Теляев Р. Ф., Кунтыш В. Б. Методика теплового расчета аппарата воздушного охлаждения в режиме свободной конвекции воздуха // Изв. Вузов. Проблемы энергетики. 2002. № 1–2. С. 20–30.

References

1. Asadulin M. Z., Askarov R. M., Golyanov A. I., Ismailov I. G., Satikov I. F., Faizullin S. M., Faizullin A. S. *Apparat vozdušnogo ochlazhdenia* [Air cooler heat exchanger]. Patent RF, no. 5835341, 2003.

2. Lifanov V. A., Berestov V. A., Shl'achov S. B. *Teploobmennii apparat tipa apparata vozdušnogo ochlagdenia* [Heat exchanger as a type of air cooler heat exchanger]. Patent RF, no. 2004108990/06, 2004.

3. Kuntyshev V. B., Sukhotskii A. B., Minnigaleev A. Sh., Mulin V. P. *Apparat vozdušnogo ochlazhdenia* [Air cooler heat exchanger]. Patent RB, no. 20130091, 2013.

4. Kuntyshev V. B., Bessonov A. N. *Osnovi rascheta i proektirovaniya teploobmennikov vozdušnogo ochlagdenia* [Basic of calculation and design of air cooled heat exchangers]. St. Petersburg, Nedra Publ., 1996. 512 p.

5. Kuntyshev V. B. *Primeri raschetov nestandartizirovannich effektivnich teploobmennikov* [Examples of substandard heat exchanger's calculations]. St. Petersburg, Nedra Publ., 2000. 300 p.

6. Kuntyshev 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. *Izvestia vuzov. Energetika* [Proceedings of the higher education institutions. Power engineering], 1999, no. 4, pp. 59–68 (in Russian).

7. Korolenko U. A. Heat transfer of horizontal tubes beam to air in condition of free convection. *Izv. Tomskogo trudovogo krasnogo znameni politechnicheskogo instituta im. S. M. Kirova* [Tomsk Red Flag of Labor Polytechnic Institute named after S. M. Kirov], 1962, no. 110, pp. 26–33 (In Russian).

8. 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).

9. Machulin V. I. Heat transfer of a number of vertical tubes for free natural air's convection. *Kholodilnaya tekhnika* [Refrigerating engineering], 1976, no. 7, pp. 24–25 (In Russian).

10. Kuntyshev 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. *Izvestia vuzov. Lesnoi zhurnal* [Proceedings of the higher education institutions. Forestry journal], 2002, pp. 116–119 (In Russian).

11. Samorodov A. V. Calculation of radiative heat transfer of domed-ribbed tubes and beams. *Trudy lesoingenernogo facul'teta Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta* [Proceedings of the Faculty of Forestry of Petrozavodsk State University], 1999, no. 2, pp. 135–142 (In Russian).

12. Samorodov A. V. *Sovershenstvovanie metodiki teplovogo rasczeta i proektirovaniya apparatov vozdušnogo ochlazhdenia s shahmatnimi puczkami: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Perfection of a technique of thermal calculation and design of air coolers with chess ribbed beams: abstract of thesis PhD (Engineering)]. St. Petersburg, 1999, pp. 3–22.

13. Kuntyshev V. B. Research of irradiance finned pipe air cooling heat exchangers. *Izvestia vuzov. Energetika* [Proceedings of the higher education institutions. Power engineering], 1981, no. 10, pp. 119–122 (In Russian).

14. Samorodov A. V. Radiant heat transfer of single finned tube with the environment. *Sbornik nauchnich trudov. Ochrana okrudgaushei sredi i racsional'noe ispol'zovanie prirodnich resursov* [Collection of scientific works. Environmental protection and rational use of natural resources], 1997, no. 2, pp. 135–142 (In Russian).

15. Samorodov A. V., Telyaev R. F., Kuntyshev V. B. Methods of thermal calculation apparatus air cooling in free air convection. *Izvestia vuzov. Energetika* [Proceedings of the higher education institutions. Power engineering], 2002, no. 1–2, pp. 20–30 (In Russian).

Информация об авторах

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

Фарафонов Валерий Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь).

Филатов Святослав Олегович – кандидат технических наук, ассистент кафедры энергосбережения, гидравлики и теплотехники. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: filatau@tut.by

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 authors

Sukhotskiy Al'bert Borisovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of 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

Farafontov Valeriy Nikolaevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Filatov Svyatoslav Olegovich – PhD (Engineering), Assistant of the Department of Energy-saving, Hydraulics and Heat Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: filatau@tut.by

Sidorik Galina Sergeevna – PhD student of 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 01.11.2016

УДК [712.5(282.3):627.8.059.22]:[519.2:311]

Г. И. Касперов¹, В. Е. Левкевич², С. М. Пастухов³, Д. С. Миканович³

¹ Белорусский государственный технологический университет

² Институт экономики Национальной академии наук Беларуси

³ Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям
Республики Беларусь

МЕТОДИКА ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОДОПРОНИЦАЕМОСТИ И УСТОЙЧИВОСТИ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНЫХ ПЛОТИН ШЛАМОХРАНИЛИЩ

В статье приведены результаты исследований, полученные в рамках выполнения научного задания «Исследование устойчивости ограждающих гидротехнических сооружений шламоохранилищ и прудов-накопителей мелиоративных и пolderных систем для предупреждения чрезвычайных ситуаций и оценки возможных ущербов». Выполненные натурные обследования 17 шламоохранилищ позволили определить основные критерии оценки технического состояния гидротехнических сооружений, провести оценку состояния низовых и верховых откосов ограждающих сооружений, а также определить факторы, способствующие переработке (абразии) береговой линии шламоохранилищ.

С целью оценки влияния процесса безнапорной фильтрации на устойчивость ограждающих конструкций гидротехнических сооружений шламоохранилищ, а также прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций на данном типе сооружений была разработана методика лабораторных исследований и лабораторная установка. Разработанная методика регламентирует порядок проведения исследований по изучению водопроницаемости и суффозионной устойчивости грунтов, применяемых при строительстве гидротехнических сооружений шламоохранилищ. Лабораторная установка позволяет проводить исследования водопроницаемости и суффозионной устойчивости образцов грунта или модели сооружения (состоящей из грунта различного гранулометрического состава), определять критические состояния фильтрационного потока, изучать закономерности взаимодействия грунта с фильтрационным потоком (суффозионный вынос грунта), что редко удается сделать в натуральных условиях.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, чрезвычайные ситуации, лабораторные исследования, методика, техническое состояние.

G. I. Kasperov¹, V. E. Levkevich², S. M. Pastukhov³, D. S. Mikanovich³

¹ Belarusian State Technological University

² Institute of Economics of the National Academy of Science of Belarus

³ University of Civil Defense of the Ministry of Emergency Situations
of the Republic of Belarus

FIELD SURVEYS OF DRAINAGE AND POLDER SYSTEMS SLUDGE DEPOSITORIES' TECHNICAL STATE

The article presents the results of the research “Examination of sludge depositories enclosures stability (in drainage and polder systems) for emergency prevention and damage evaluation”. Field surveys of 17 sludge depositories have been conducted. Evaluation criteria for hydraulic structures technical state have been worked out. The state of water-retaining structures downstream and upstream sides has been examined. Factors of sludge depositories shores abrasion wear have been determined.

Laboratory procedures and laboratory model facility have been created to estimate the influence of free filtration on sludge depositories hydraulic structures' stability and to forecast emergency risks for these structures. The methodology determines the procedure of drainage properties and suffosion stability laboratory tests for soils used in sludge depositories' construction. The created laboratory facility allows: to conduct laboratory tests of drainage properties and suffosion stability of soil and of a construction model (made of soils of various grain sizes); to determine critical state of filtration flow and to study the interaction of soil and filtration flow (when soil suffusion occurs) that is rarely possible in the field surveys.

Key words: hydraulic structures, emergencies, laboratory research, methodology, technical state.

Введение. Характеристики фильтрационных свойств грунтов являются важнейшими исходными данными при проектировании лю-

бого напорного гидротехнического сооружения (ГТС). Прежде всего, они необходимы для выбора рациональной схемы его подземного кон-

тура, расчета конструкции водоупорного элемента, а также для оценки фильтрационных потерь, скорости консолидации грунта в основании и т. п. [1, 2]. Кроме того, для прогнозирования возникновения чрезвычайных ситуаций (ЧС) на ГТС шламохранилищ необходимо знать свойства грунтов: водопроницаемость и суффозионную устойчивость; а также оценивать скорость и коэффициент фильтрации жидкости через тело плотины. Именно последняя составляющая является наиболее важной с точки зрения прогнозирования ЧС [3, 4].

В рамках выполнения задания «Исследования устойчивости ограждающих гидротехнических сооружений шламохранилищ и прудов-накопителей мелиоративных и польдерных систем для предупреждения чрезвычайных ситуаций и оценки возможных ущербов» ГПНИ «Информатика и космос. Научное обеспечение безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций» были проведены натурные обследования на ряде объектов шламохранилищ Республики Беларусь. Методика оценки технического состояния ГТС шламохранилищ разработана на основании данных [5]:

– обследования состояния берегоукрепительных сооружений и верховых откосов земляных плотин (дамб) с целью выявления участков, наиболее подверженных разрушениям;

– визуальных наблюдений за фильтрационными деформациями в нижнем бьефе земляных плотин (дамб) (наличие суффозионного выноса грунта основания и тела плотины (дамбы)).

Основная часть. Обследования состояния верховых откосов плотины включали в себя их осмотр, описание, фотографирование, замер поперечных и продольных деформаций. Всего в период с сентября 2010 г. по настоящее время натурные обследования были проведены на 17 объектах (в том числе некоторые из них многократно) [5].

По результатам натурных наблюдений было также установлено, что кроме овражной эрозии на указанных объектах активно протекают процессы переработки береговых склонов (абразии), основными факторами которых являются [6] ветровое и волновое воздействие, колебания уровней, вдольбереговые течения, а также возникновения фильтрации в теле плотин (дамб) (рис. 1 и 2).

С целью оценки влияния процесса безнапорной фильтрации на устойчивость ограждающих конструкций ГТС шламохранилищ, а также прогнозирования возникновения ЧС на данном типе сооружений нами была разработана методика лабораторных исследований и лабораторная установка – фильтрационный лоток.



Рис. 1. Повреждения низовых откосов ограждающих сооружений шламохранилищ



Рис.2. Переработка (абразия) береговой линии сооружений шламохранилищ

Разработанная методика регламентирует порядок проведения исследований по изучению водопроницаемости и суффозионной устойчивости грунтов, применяемых при строительстве ГТС шламохранилищ и позволяет:

- определять размеры и размещение противофильтрационных устройств (экранов, ядер и т. п.);
- определять размеры и расположение дренажных устройств, а также осуществлять подбор обратных фильтров;
- определять фильтрационный расход;
- строить кривую депрессии, а в необходимых случаях и сетки движения фильтрационного потока в теле и основании земляной плотины;
- оценивать устойчивость грунтов при механической суффозии и выпоре [7–10].

Лабораторная установка позволяет:

- проводить исследования водопроницаемости и суффозионной устойчивости образцов грунта или модели сооружения;
- не только определять критические состояния фильтрационного потока, но и изучать закономерности взаимодействия грунта с фильтрационным потоком (суффозионный вынос грунта), что по данным [6, 11, 12] редко удается сделать в натуральных условиях.

Лабораторная установка (рис. 3) представляет собой горизонтальную колонку 1 прямоугольного сечения, выполненную из листового металла с глухим закрытым дном. Установка может быть разделена на секции за счет перемещения внутренних перегородок 2. Перегородки разделяют установку герметично, что не допускает перетекания фильтрационного потока из одной секции в другую. Боковая стенка лотка имеет отверстия со штуцерами для подключения пьезометров 3. Со стороны грунта отверстия закрыты металлической сеткой. Все пьезометры выведены на щиток, нуль шкалы которого совпадает с плоскостью сравнения 0–0. В верхней части колонки имеется трубка 4 для поддержания на постоянной высоте уровня воды в приборе. Профильтрованная вода сливается из лотка по сливной воронке 5 с изменяющейся пропускной способностью, расположенной в нижнем бьефе.

Сливные воронки в верхнем и нижнем бьефах устанавливаются на желаемую высоту. Сливную воронку в верхнем бьефе нельзя устанавливать выше отметки гребня плотины.

Затем подается вода в верхний бьеф и после того, как движение фильтрационного потока установится, начинают измерение расхода и положение кривой депрессии. По показаниям пьезометров на щите, приведенным к одной горизонтальной плоскости, фиксируется положение депрессионной кривой. Данные измерений заносятся в журнал работ, по которым производится построение кривой депрессий. На мил-

лиметровую бумагу по данным журнала наносит положения пьезометров и их показания, согласно которым получают экспериментальную кривую депрессии [1]. Разработанная установка обладает рядом преимуществ по сравнению с аналогичными, а именно позволяет:

- моделировать земляные плотины в различных масштабах за счет перемещения внутренних герметичных перегородок;
- поддерживать различные уровни воды в нижнем бьефе за счет увеличения либо уменьшения пропускной способности сливной воронки;
- изменять конфигурацию размещения пьезометров и проводить исследования на восьми моделях плотин одновременно;
- проводить лабораторные исследования с агрессивными жидкостями.

Исследование фильтрации проводится на модели однородной земляной плотины, установленной в гидравлическом горизонтальном лотке длиной 2,90 м, высотой 0,85 м и шириной 1,2 м. Вдоль оси (рис. 3, б, 2) лотка в основании плотины устанавливаются пять пьезометров (рис. 3, а, 3) для измерения пьезометрической высоты депрессионной кривой.

Пьезометры представляют собой трубки диаметром 0,01 м. Устья трубок и отверстия в стенках закрыты латунными сетками, которые защищают пьезометры от засорения грунтом. По уровням воды в пьезометрах отмечается положение уровня депрессионной кривой на каждой вертикали, проведенной по устьям пьезометров. Вода в верхний бьеф подается из емкости, а для поддержания постоянного уровня в верхнем и нижнем бьефе устанавливаются сливные воронки (рис. 3, 5). Для замера расхода фильтрации используется мерный сосуд и секундомер. Материал грунтовой плотины – разнозернистый песок.

По данным исследований Аравина А. И., Нумерова, С. Н., Чугаева Р. Р., а также согласно требованиям нормативных документов при исследовании движения жидкости в лабораторных условиях, модели ГТС выполнялись таким образом, чтобы они были геометрически подобны действительным сооружениям [7–10, 13–15, 16, 17]. При соблюдении данного условия определенные при испытании моделей величины без изменения можно переносить на натурные условия.

Обработка результатов измерений. По формуле (1) определяется расход фильтрации через грунтовую плотину, а затем единичный расход, см/с:

$$q_p = \frac{Q_0}{B}, \quad (1)$$

где Q_0 – фильтрационный расход; B – ширина лотка.

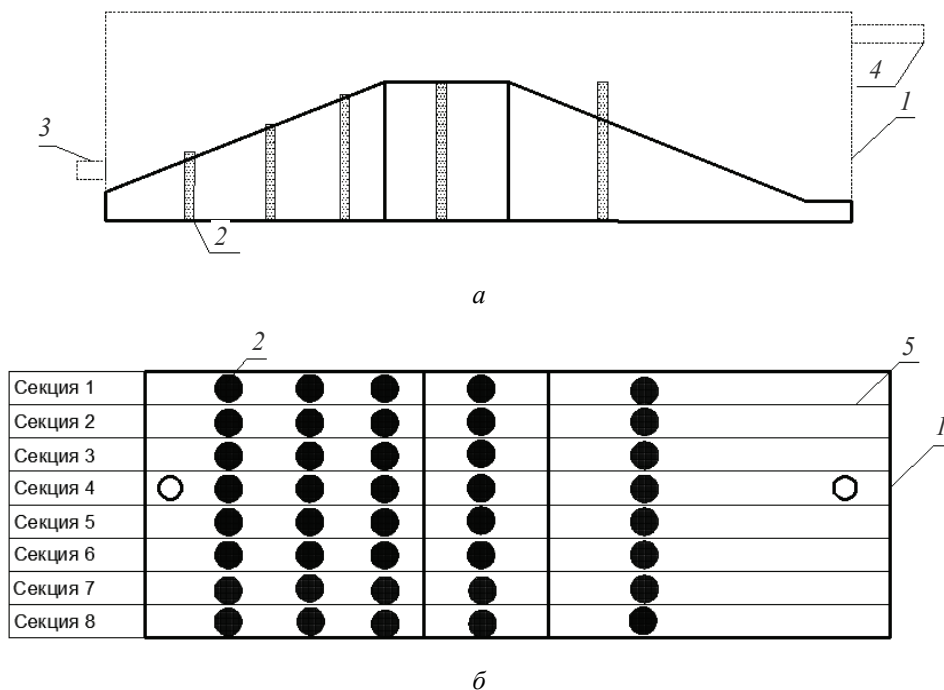


Рис. 3. Схема лабораторной установки:
 а – поперечный разрез; б – план размещения пьезометров:
 1 – корпус лотка; 2 – внутренние перегородки; 3 – пьезометры;
 4 – трубка для поддержания постоянного уровня в верхнем бьефе; 5 – сливная воронка

Удельный расход фильтрации вычисляется по формуле

$$q_v = K_{\phi} \frac{H_1 - H_2}{2L_p}, \tag{2}$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации грунта плотины, см/с; H_1 – высота воды в верхнем бьефе; H_2 – высота воды в нижнем бьефе; L_p – расстояние от разделяющего сечения до точки встречи депрессионной кривой с линией, проходящей по уровню воды в нижнем бьефе, см.

Относительная погрешность вычисленного удельного расхода фильтрации определяется по формуле

$$\delta = \frac{q_p - q_v}{q_p} 100\%. \tag{3}$$

Раздельное сечение проводится по вертикали, проходящей через точку на верховом откосе плотины, заглубленную под уровень воды в верхнем бьефе на величину $H_1 - H_2$. Коэффициент ϵ принимается равным 0,3–0,4 [8].

Ординаты депрессионной кривой вычисляются по формуле

$$Y = \sqrt{H_1 - 2 \frac{q_v}{K_{\phi}} X}, \tag{4}$$

где X – абсцисса точки депрессионной кривой, для которой находится ордината, см.

Ось OX располагается по линии дна лотка. Начало координат совпадает с разделяющим сечением. Все результаты сводятся в таблицу и выполняется полный ее анализ.

При выполнении измерений применяются следующие средства измерений и вспомогательное оборудование: пьезометры; цилиндры мерные 1-500 (ГОСТ 1770), весы лабораторные аналитические (ГОСТ 24104); набор сит с поддоном (ГОСТ 12536); ступка фарфоровая (ГОСТ 9147); чашка фарфоровая (ГОСТ 9147); шкаф сушильный; контрольно-запорная арматура.

Заключение. В результате проведенных натурных обследований объектов шламохранилищ Республики Беларусь определены основные критерии оценки технического состояния ГТС. Проведена оценка состояния низовых и верховых откосов ограждающих сооружений, а также определены факторы, способствующие переработке (абразии) береговой линии шламохранилищ.

Для исследований безнапорной фильтрации в теле земляной плотины и изучения закономерности движения фильтрационного потока, положения кривой депрессии, а также определения удельного фильтрационного расхода и коэффициента фильтрации грунта с целью прогнозирования возникновения ЧС на ГТС шламохранилищ была разработана методика лабораторных исследований и экспериментальная

установка – фильтрационный лоток, отличающаяся тем, что имеется возможность моделировать земляные плотины в различных масштабах за счет перемещения внутренних герметичных перегородок и изменения структуры размеще-

ния пьезометров, а также поддерживать различные уровни воды в нижнем бьефе за счет увеличения либо уменьшения пропускной способности сливной воронки и проводить исследования с агрессивными жидкостями.

Литература

1. Рекомендации по методике лабораторных испытаний грунтов на водопроницаемость и суффозионную устойчивость: утв. М-вом энергетики и электрификации СССР 24 февр. 1983 г. Текст по состоянию на 1 дек. 1985 г. М., 1983. 38 с.
2. Прохоров Н. Н. Методы оценки технического состояния ограждающих дамб шламохранилищ калийного производства: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2009. 20 с.
3. Малик Л. К. Факторы риска повреждения гидротехнических сооружений. Проблема безопасности. М.: Наука, 2005. 354 с.
4. Jung H. G. Hydrogeochemical Groundwater Monitoring in Mailuu-Suu, Kyrgyz Republic. Final Report of Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). Hannover, 2008. 81 p.
5. Пастухов С. М. Оценка риска возникновения чрезвычайных ситуаций на гидроузлах Республики Беларусь, расположенных в каскадах: дис. ... канд. техн. наук. Минск, 2011. 132 л.
6. Левкевич В. Е. Переработка берегов малых водохранилищ мелиоративных систем, ее прогноз и управление (на примере Белорусской ССР): дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1986. 135 л.
7. Cisler J., yKuraz V. Zarizenikesledovanistavu a pohybu v nenasycenezemine // Vodni Hospodarstvi. 1971. № 12, ser. A. P. 341–344.
8. Bouwer H. Unsaturated flow in groundwater hydraulic // Proc. ASCE. 1964. Vol. 90, No. HY5. P. 17–34.
9. Corey A. T. Measurement of water and air permeability in unsaturated soil // Proc. Soil Sci. Soc. Am. 1957. Vol. 21. P. 7–10.
10. Amar S., Dupny H. Etude stir la permeabilite des sols fins mesureeenlaboratoire // Lab. Ponts-Chauss., Rapp. Rech. 1973. № 23. P. 1–34.
11. Исследование безнапорной фильтрации в теле грунтовой плотины для выявления аварийных ситуаций в лабораторных условиях [Электронный ресурс]. URL: http://www.rusnauka.com/4_SND_2011/Ecologia/2_79046.doc.htm (дата обращения: 28.04.2015).
12. Водчиц Н. Н., Мороз М. Ф. Методические указания по проведению лабораторных работ по курсам «Гидротехнические сооружения» и «Гидротехнические сооружения на дорогах». Брест: БрПИ, 1998. 33 с.
13. Гидротехнические сооружения. Строительные нормы проектирования = Гідратэхнічныя збудаванні. Будаўнічыя нормы праектавання: ТКП 45-3.04-169-2009. Введ. 30.12.09. Минск: М-во архитектуры и строительства Респ. Беларусь, 2010. 45 с.
14. Аравин В. И., Нумеров С. Н. Фильтрационные расчеты гидротехнических сооружений. М.: Стройиздат, 1948. 225 с.
15. Чугаев Р. Р. Гидравлика (техническая механика жидкости). 4-е изд. Л.: Энергоиздат, Ленингр. отд., 1982. 672 с.
16. Лиштван И. И., Парфенок В. И., Лучков А. И. Экологические проблемы в Белоруссии и пути их научного решения // Экологические проблемы в Белоруссии. 2001. С. 111–116.
17. Козлов П. П., Шутина Т. П., Иванов Г. П. Декларация безопасности шламохранилищ ОАО «Беларуськалий». Минск, 2008. 106 с.

References

1. *Rekomendatsii po metodike laboratornykh ispytaniy gruntov na vodopronitsaemost' i suffozionnuyu ustoychivost'* [Recommendations on methodology of laboratory tests of soil drainage properties and suffo-sion stability]. Moscow, 1983. 38 p.
2. Prohorov N. N. *Metody ocenki techniceskoho sostojnija ograzhdayushchih damb shlamohranilishch kalijnogo proisvodstva: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Methods for examination of potassium production sludge depositor's enclosures technical state: abstract of thesis PhD (Engineering)]. Minsk, 2009. 20 p.
3. Malik L. K. *Faktory riska povrezhdeniy gidrotekhnicheskikh sooruzhenij* [Risk factors for hydraulic structures, safety issues]. Moscow, Nauka Publ., 2005. 354 p.
4. Jung H. G. Hydrogeochemical Groundwater Monitoring in Mailuu-Suu, Kyrgyz Republic. Final Report of Federal Institute for Geosciences and Natural Resources (BGR). Hannover, 2008. 81 p.
5. Pastukhov S. M. *Ocenka riska vosniknovenij chresvuchaunuh situaciu na gidrouslah Respubliki Belarus: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Evaluation of emergency risks in cascade water facilities in the Republic of Belarus: dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 2011. 132 p.

6. Levkevich V. E. *Pererabotka berehov malych vodohranilishch meliorativnych sistem, ee prognoz i upravlenie (na primere Belorusskoy SSR): dis. ... kand. tekhn. nauk* [Treatment of small reclamation ponds shores, management and forecast (as it was in BSSR): dissertation PhD (Engineering)]. Minsk, 1986. 135 p.
7. Cisler J., yKuraz V. Zarizenikesledovanistavu a pohybu v nenasycezemine. *VodniHospodarstvi*, 1971, no. 12, ser. A, pp. 341–344.
8. Bouwer H. Unsaturated flow in groundwater hydraulic *Proc. ASCE*, 1964, vol. 90, no. HY5, pp. 17–34.
9. Corey A. T. Measurement of water and air permeability in unsaturated soil. *Proc. Soil Sci. Soc. Am.*, 1957, vol. 21, pp. 7–10.
10. Amar S., Dupny H. Etude stir la permeabilite des sols fins mesureeenlaboratoire *Lab. Ponts Chauss., Rapp. Rech.*, 1973, no. 23, pp. 1–34.
11. Laboratory Emergency Risks Tests of Free Filtration inside an Earthen Dam. Available at: http://www.rusnauka.com/4_SND_2011/Ecologia/2_79046.doc.htm (accesed: 28.04.2015).
12. Vodchits N. N., Moroz M. F. *Metodicheskiye ukazaniya po provedeniyu laboratornykh rabot po kursam "Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya" i "Gidrotekhnicheskiye sooruzheniya na vodakh"* [Laboratory procedures for courses "Hydraulic structures" and "Hydraulic structures on roads"]. Brest, BrPI Publ., 1998. 33 p.
13. ТКР 45-3.04-169-2009. Hydraulic Structures. Construction Design Code. Minsk, Ministry of Architecture and Construction of the Republic of Belarus, 2010. 45 p. (In Russian).
14. Aravin V. I., Numerov S. N. *Filtracionnye raschety gidrotekhnicheskikh sooruzhenij* [Leakoff estimations for hydraulic structures]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1948. 225 p.
15. Chugaev, R. R. *Gidravlika (tehnicheskaj mehanika gidkosti)* [Hydraulics (Engineering Mechanics of Fluids)]. Leningrad, Energoizdat Publ., 1982. 672 p.
16. Lishtvan I. I., Parphenyuk V. I., Luchkov A. I. Issues and Scientific Solutions of Environmental Problems in Belarus. *Ekologicheskie problemy v Belorussii* [Environmental Issues in Belarus], 2001, pp. 111–116 (In Russian).
17. Kozlov P. P., Shutina T. P., Ivanov G. P. *Deklaraciya bezopasnosti shlamochranilishch OAO «Belaruskalii»* [Sludge Depositories' Safety Declaration in Belaruskaliy, JSC]. Minsk, 2008. 106 p.

Информация об авторах

Касперов Георгий Иванович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kgi59@tut.by

Левкевич Виктор Евгеньевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий сектором экологоэкономических проблем Института экономики Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. Сурганова, 1, корп. 2, Республика Беларусь). E-mail: eco2014@tut.by

Пастухов Сергей Михайлович – кандидат технических наук, доцент, начальник факультета подготовки руководящих кадров. Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, Республика Беларусь).

Миканович Дмитрий Станиславович – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры пожарной и аварийно-спасательной техники. Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (220118, г. Минск, ул. Машиностроителей, 25, Республика Беларусь). E-mail: dimon-cas@mail.ru

Information about the authors

Kasperov Georgiy Ivanovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kgi59@tut.by

Levkevich Viktor Evgenyevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Environment and Economy Issues Department. Institute of Economics of the National Academy of Sciences of Belarus (1/2, Surganova str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: eco2014@tut.by

Pastukhov Sergei Mikhailovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Faculty for Senior Staff Training. University of Civil Defense of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus (25, Mashinostroiteley str., 220118, Minsk, Republic of Belarus).

Mikanovich Dmitriy Stanislavovich – Master of Engineering, Senior Lecturer of Fire Fighting and Fire Rescue Equipment Department. University of Civil Defence of the Ministry of Emergency Situations of the Republic of Belarus (25, Mashinostroiteley str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dimon-cas@mail.ru.

Поступила 09.11.2016

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	5
Кравченко О. В. Проектирование и организация спутниковых измерений при работе под пологом древостоя	5
ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО.....	9
Потапенко А. М., Серенкова В. А. Анализ естественного возобновления леса в сосновых насаждениях ГЛХУ «Лунинецкий лесхоз» после проведения первого приема равномерно-постепенных рубок	9
Рожков Л. Н. Старовозрастные сосняки Беловежской пуци: состояние, перспективы сохранения.....	14
Рожков Л. Н., Бутьковец В. В. Лесовозобновительный потенциал белорусской популяции <i>Picea abies</i> в современных условиях.....	18
ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ	23
Аулин В. В., Панков А. А. Программно-аппаратные средства дифференцированного дозирования технологических материалов	23
Баранов О. Ю., Балюцкас В., Юшкаускайте А. Анализ степени генетического полиморфизма семенного потомства <i>Pinus sylvestris</i> L. и <i>Betula pendula</i> Roth. с различной степенью фенотипической пластичности	34
Рубель И. Э., Баранов О. Ю., Пантелеев С. В., Разумова О. А., Гушин В. А., Макаров В. В. Молекулярно-генетический анализ вирусоподобных элементов в геноме хвойных	39
Селищева О. А., Носников В. В. Технологические аспекты искусственного восстановления насаждений липы мелколистной	44
Якимов Н. И., Крук Н. К., Юрениа А. В. Оценка показателей роста саженцев ели европейской в уплотненной школе	50
ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО.....	55
Марченко А. Б. География распространения патогенной микофлоры на растениях <i>Callistephus chinensis</i> L. Ness.	55
Ярук А. В., Звягинцев В. Б. Эффективность химических и биологических средств защиты при выращивании посадочного материала ясеня обыкновенного в лесных питомниках	60
Левшук О. Н., Середич Т. А. Организация оптимальных экологических условий на территории ЧУП «ДиАрСад» и перспектива его развития	69
ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО	74
Зданович Н. И., Шапорова Я. А., Каплич В. М., Бахур О. В. Экологическая тропа «Сказка Негорельского леса» как объект образовательного туризма	74
Морозов О. В., Гримашевич В. В. Долгосрочный прогноз заготовки дикорастущих ягод в Республике Беларусь	79
ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ.....	82
Насковец М. Т., Жарков Н. И., Заец С. С., Хорошун Н. В. Исследование факторов, влияющих на время погрузки сортиментов на промежуточных складах.....	82
Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Испытания конструкций дорожных одежд, устроенных на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»	89

Германович А. О., Лой В. Н., Мохов С. П., Асмоловский М. К. Методика определения энергозатрат рубильной установки	95
Шошин А. О., Протас П. А., Мохов С. П., Арико С. Е. Методика имитационных испытаний одномачтовой канатной установки для полуподвесной трелевки древесины	102
Насковец М. Т., Дини М. Н. Комбинированные геосинтетические прослойки для устройства лесных дорог. Конструкции и результаты лабораторных испытаний	109
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	115
Врублевская В. И., Кузнецова В. В., Аникеева М. В. Область применения подшипников скольжения из натуральной и прессованной древесины	115
Кузнецова В. В., Аникеева М. В., Врублевская В. И. Антифрикционный природный композит и его строение	125
Барташевич А. А., Игнатович Л. В., Коробко Е. В., Скроцкий А. И. Роль природного кремнезема в качестве наполнителя клеев	135
Zvyagintsev V. B., Garanovich I. M., Kozeka D. V. Physical and mechanical properties of <i>Crataegus submollis</i> Sarg. wood at introduction in Belarus	142
Стенина Е. И., Чеснокова Т. Ю., Оберюхтина Н. А., Ваулина И. А. Модифицирование древесно-стружечных плит наноразмерным серебром	147
Стенина Е. И., Чеснокова Т. Ю. Исследование возможностей применения коллоидного раствора наноразмерных частиц серебра в качестве биоцида для древесины в жестких условиях эксплуатации	152
Коробко Е. В., Баштовая Е. А., Харламова И. М., Барташевич М. А., Игнатович Л. В. Влияние дисперсного наполнителя и внешних полей на текучесть модифицированных клеевых композиций для фанерной продукции	156
ОБЩЕИНЖЕНЕРНЫЕ ВОПРОСЫ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА	162
Кунтыш В. Б., Сухоцкий А. Б. Интенсификация теплоотдачи пластическим расчленением накатных алюминиевых ребер биметаллических труб в потоке воздуха	162
Сухоцкий А. Б., Фарафонов В. Н., Филатов С. О., Сидорик Г. С. Разработка стенда и исследование свободной конвекции одиночной оребренной трубы при различных углах наклона	169
Касперов Г. И., Левкевич В. Е., Пастухов С. М., Миканович Д. С. Методика лабораторных исследований водопроницаемости и устойчивости грунтов земляных плотин шламохранилищ	176

CONTENTS

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY	5
Kravchenko O. V. Design and organization of satellite measurements under the canopy of the forest.....	5
FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE	9
Potapenko A. M., Serenkova V. A. Analysis of natural forest regeneration in pine plantations GLHU “Luninetskiy Leshoz” after the first step of the even successive final harvest is done.....	9
Rozhkov L. N. Old-growth pine forests of the Belovezhskaya Pushcha: status and prospects for conservation	14
Rozhkov L. N., But’kovets V. V. Forest renewal potential of the Belarusian population <i>Picea abies</i> under current conditions	18
FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING.....	23
Aulin V. V., Pankov A. A. Software and hardware for differential dosing technological materials	23
Baranov O., Baliuckas V., Jushkauskaitė A. Analysis of the degree of genetic polymorphism in seed progeny of <i>Pinus sylvestris</i> L. and <i>Betula pendula</i> Roth. with various level of phenotypic plasticity	34
Rubel’ I. E., Baranov O., Panteleev S. V., Razumova O. A., Gishchin V. A., Makarov V. V. Molecular genetic analysis of virus-like elements in the genome of conifers	39
Selishcheva O. A., Nosnikov V. V. The technological aspects of artificial reforestation of linden plantations.....	44
Yakimov N. I., Kruk N. K., Yurenja A. V. Evaluation of growth performance of Norway spruce seedlings in nurseries.....	50
FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING	55
Marchenko A. B. The geography of pathogenic mycoflora spreading on <i>Callistephus chinensis</i> L. Ness. plants.....	55
Yaruk A. V., Zvyagintsev V. B. Effectiveness of chemical and biological fungicides in cultivation of planting material of European ash in forest nurseries	60
Levshuk O. N., Seredich T. A. Organization of the optimal ecological conditions on the territory of the PUE “DiArSad” and the prospect of its development	69
TOURISM AND FOREST HUNTING MANAGEMENT	74
Zdanovich N. I., Shaporova Ya. A., Kaplich V. M., Bachur O. V. Ecological path “The tale of the Niegoreloje forest” as an object of educational tourism	74
Morozov O. V., Grimashevich V. V. Long-term vision of wild berries procurement in the Republic of Belarus	79
TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS.....	82
Naskovets M. T., Zharkov N. I., Zaets S. S., Khoroshun N. V. The study of factors affecting assortments loading time at the intermediate warehouses	82
Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I. Testing of road structures, built on the basis of the reinforcement frame “gergrid-cementsoil”	89
Hermanovich A. O., Loy V. N., Mokhov S. P., Asmolovsky M. K. Method of determining of the chipper energy consumption	95

Shoshin A. O., Protas P. A., Mokhov S. P., Ariko S. E. Method simulation test single-masted cable setting for half hanging timber skidding.....	102
Naskovets M. T., Dini M. N. Combined geosynthetic layers for forest road structure. Constructs and results of laboratory tests.....	109
WOODWORKING INDUSTRY	115
Vrublevskaya V. I., Kyznetsova V. V., Anikeyeva M. V. Application of plain bearings from natural and pressed wood.....	115
Kyznetsova V. V., Anikeyeva M. V., Vrublevskaya V. I. Antifriction natural composite and it's structure.....	125
Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Korobko E. V., Skrotskiy A. I. The role of natural silica as adhesives filler.....	135
Zvyagintsev V. B., Garanovich I. M., Kozeka D. V. Physical and mechanical properties of <i>Crataegus submollis</i> Sarg. wood at introduction in Belarus.....	142
Stenina E. I., Chesnokova T. Yu., Oberjuhtina N. A., Vaulina I. A. Modification of chipboard nanoscale silver.....	147
Stenina E. I., Chesnokova T. Y. Research of opportunities of use of colloidal solution of nanodimensional particles of silver as the biocide for wood in severe conditions of exploitation.....	152
Korobko E. V., Bashtovaya E. A., Kharlamova I. M., Bartashevich M. A., Ignatovich L. V. The impact of the particulate filler and external fields on the fluidity of modified adhesive compositions for plywood products	156
ALL-ENGINEERING QUESTIONS OF TIMBER PROCESSING COMPLEX	162
Kuntysh V. B., Sukhotskiy A. B. Intensification of the convective heat exchange by the plastic dismembering of rolling aluminium ribs of bimetallic tubes in air stream.....	162
Sukhotskiy A. B., Farafontov V. N., Filatov S. O., Sidorik G. S. Stand development and research of free convection for single finned tube for different rake angle	169
Kasperov G. I., Levkevich V. E., Pastukhov S. M., Mikanovich D. S. Field surveys of drainage and polder systems sludge depositories' technical state.....	176

Редакторы: Т. Е. Самсанович, О. П. Приходько
Компьютерная верстка: О. Ю. Шантарович, С. В. Белявская
Корректоры: Т. Е. Самсанович, О. П. Приходько

Подписано в печать 15.01.2017. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Печать офсетная.
Усл. печ. л. 21,6. Уч.-изд. л. 23,2.
Тираж 100 экз. Заказ 11.

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.