

ISSN 0536 – 1036

DOI:10.17238/issn0536-1036

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Основан в 1833 г.

6/360

2017

Уважаемые читатели, авторы, рецензенты, члены редакционной коллегии!

Научный журнал «Известия высших учебных заведений. Лесной журнал» включен в действующий Перечень рецензируемых научных изданий РФ и публикует статьи по следующим группам специальностей: 06.03.00 Лесное хозяйство; 05.21.00 Технология, машины и оборудование лесозаготовок, лесного хозяйства, деревопереработки и химической переработки биомассы дерева; 03.02.00 Общая биология.

К сведению авторов

В журнале публикуются ранее не публиковавшиеся научные статьи, не содержащие сведений, относящихся к государственной, служебной или коммерческой тайне. Все статьи подлежат обязательному анонимному рецензированию. Отклоненные статьи авторам не возвращаются. Редакция оставляет за собой право производить сокращение и вносить редакционные изменения в рукопись. Плата за публикацию рукописей не взимается, авторский гонорар не выплачивается.

Основные требования, предъявляемые к статьям:

научная новизна; актуальность задачи, решаемой данным исследованием; корректность постановки эксперимента и полученных результатов; возможность воспроизведения экспериментальных данных; ясность и логичность изложения; правильное оформление рукописи. Текст представляется на бумажном и электронном носителях на русском или английском языке. Объем статьи не должен превышать 8–12 страниц (обзорная статья 16–18 страниц) формата А4, включая таблицы, схемы, рисунки и список литературы. Электронный вариант статьи выполняется в текстовом редакторе Microsoft Word, шрифт 14 Times New Roman, межстрочный интервал – множитель 1,2, поля – 2 см. Иллюстрации представляются в форматах Tiff или Jpg, графики в Excel с разрешением не менее 300 dpi. Формулы набираются в Word for Windows. Нумеруются только те формулы, на которые делаются ссылки в тексте. Порядковый номер ставится в круглых скобках справа от формулы. В имени файла указываются фамилия и инициалы автора. Все страницы рукописи имеют сплошную нумерацию. Порядковые номера страниц проставляются посередине верхнего поля страницы арабскими цифрами. Материал статьи должен быть ясно изложен и содержать: код УДК; название статьи; фамилия и инициалы автора(ов); ученая степень/звание автора(ов); название организации, в которой выполнена работа (с полным почтовым адресом); адрес электронной почты; аннотация; ключевые слова; текст статьи (введение, методы исследования, результаты исследования и их обсуждение, заключение); список литературы; метаданные на английском языке в том же порядке, как и в варианте на русском языке.

Аннотация включает: предмет, цель работы; метод или методологию проведения работы; результаты; область применения результатов; выводы. Сведения, содержащиеся в заглавии статьи, не должны повторяться в тексте аннотации. Объем аннотации от 250 до 500 слов.

Ключевые слова (до 10 слов) — это слова из текста, по которым может вестись оценка и поиск статьи. В качестве ключевых слов могут использоваться как слова, так и словосочетания.

Список литературы оформляется согласно требованиям ГОСТ 7.0.5–2008, составляется в алфавитном порядке (сначала отечественные, затем зарубежные авторы). Библиографические ссылки в тексте статьи на номер литературного источника делаются в квадратных скобках, номер указывает на источник в списке литературы. В статье рекомендуется использовать 10–15 источников (для научного обзора – более 50), в том числе 30 % из которых иностранные.

Более подробная информация размещена на сайте <http://lesnoizhurnal.ru>

НАУЧНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ
БИБЛИОТЕКА
eLIBRARY.RU

издательский
дом
 **ЛАНБ**
www.e.lanbook.com
электронно-библиотечная система

НАУЧНАЯ
БИБЛИОТЕКА
cahy

CYBERLENINKA

EBSCO

 **AGRIS**

 **ULRICHSWEB™**
GLOBAL SERIALS DIRECTORY

J-Gate



Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук
ВИНИТИ РАН

 **CASSI™**
A CAS SOLUTION

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ) ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный рецензируемый журнал

Основан в 1833 г.
Издается в серии ИВУЗ с 1958 г.
Выходит 6 раз в год

6/360

2017

ИЗДАТЕЛЬ – СЕВЕРНЫЙ (АРКТИЧЕСКИЙ)
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

МЕЛЕХОВ В.И. – гл. редактор, д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БАБИЧ Н.А. – зам. гл. редактора, д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
БОГОЛИЦЫН К.Г. – зам. гл. редактора, д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)
КОМАРОВА А.М. – отв. секретарь, канд. с.-х. наук (Россия, Архангельск)

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

Бессчетнов В.П., д-р биол. наук, проф. (Россия, Нижний Новгород)
Билей П.В., д-р техн. наук, проф., акад. ЛАН Украины (Украина, Львов)
Богданович Н.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Ван Хайнинген А., д-р наук, проф. (США, Орно)
Воронин А.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Залесов С.В., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Камусин А.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Кищенко И.Т., д-р биол. наук, проф. (Россия, Петрозаводск)
Кожухов Н.И., д-р экон. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)
Куров В.С., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Малыгин В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Северодвинск)
Матвеева Р.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Красноярск)
Мерзленко М.Д., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Москва)
Моисеев Н.А., д-р с.-х. наук, проф., акад. РАН (Россия, Москва)
Мясищев Д.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Наквасина Е.Н., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Нимц П., д-р наук, проф. (Швейцария, Цюрих)
Обливин А.Н., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Онегин В.И., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Памфилов Е.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Брянск)
Романов Е.М., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Сакса Т., д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр. (Финляндия, Хельсинки)
Санаев В.Г., д-р техн. наук, проф. (Россия, Москва)
Селиховкин А.В., д-р биол. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Сергеевичев В.В., д-р техн. наук, проф. (Россия, Санкт-Петербург)
Сёренсен У.Я., проф. (Норвегия, Стейнхьер)
Сигурдссон Б.Д., д-р наук, проф. (Исландия, Хваннейри)
Тараканов А.М., д-р с.-х. наук, гл. науч. сотр. (Россия, Архангельск)
Усольцев В.А., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Екатеринбург)
Хабаров Ю.Г., д-р хим. наук, проф. (Россия, Архангельск)
Хакимова Ф.Х., д-р техн. наук, проф. (Россия, Пермь)
Холуша О., д-р наук, проф. (Чехия, Брно)
Черная Н.В., д-р техн. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Черных В.Л., д-р с.-х. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Ширнин Ю.А., д-р техн. наук, проф. (Россия, Йошкар-Ола)
Штукин С.С., д-р с.-х. наук, проф. (Белоруссия, Минск)
Энгельманн Х.-Д., д-р инж. наук, проф. (Германия, Эмден)

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

NORTHERN (ARCTIC) FEDERAL UNIVERSITY
NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific peer-reviewed journal

Established in 1833
Issued as part of the
“Bulletin of Higher Educational Institutions” since 1958
Published 6 times a year

6/360

2017

PUBLISHER: NORTHERN (ARCTIC)
FEDERAL UNIVERSITY NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

EDITORIAL STAFF:

MELEKHOV V.I. – Editor-in-Chief, Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BABICH N.A. – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
BOGOLITSYN K.G. – Deputy Editor-in-Chief, Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
KOMAROVA A.M. – Executive Secretary, Candidate of Agriculture (Russia, Arkhangelsk)

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:

Besschetnov V.P., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Nizhny Novgorod)
Biley P.V., Doctor of Engineering, Prof., Member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine (Ukraine, Lviv)
Bogdanovich N.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Van Heiningen A., PhD, Prof. (USA, Orono)
Voronin A.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Zalesov S.V., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Kamusin A.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Kishchenko I.T., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Petrozavodsk)
Kozhukhov N.I., Doctor of Economics, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Kurov V.S., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Malygin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Severodvinsk)
Matveeva R.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Krasnoyarsk)
Merzlenko M.D., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Moscow)
Moiseev N.A., Doctor of Agriculture, Prof., Member of the Russian Academy of Sciences (Russia, Moscow)
Myasishchev D.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Nakvasina E.N., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Niemz P., PhD, Prof. (Switzerland, Zurich)
Oblivin A.N., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Onegin V.I., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Pamfilov E.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Bryansk)
Romanov E.M., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Saksa T., Doctor of Agriculture, Senior Researcher (Finland, Helsinki)
Sanaev V.G., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Moscow)
Selikhovkin A.V., Doctor of Biology, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Sergeevichev V.V., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Saint Petersburg)
Sørensen O.J., PhD, Prof. (Norway, Steinkjer)
Sigurðsson B.D., PhD, Prof. (Iceland, Hvanneyri)
Tarakanov A.M., Doctor of Agriculture, Chief Research Scientist (Russia, Arkhangelsk)
Usol'tsev V.A., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yekaterinburg)
Khabarov Yu.G., Doctor of Chemistry, Prof. (Russia, Arkhangelsk)
Khakimova F.Kh., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Perm)
Holuša O., PhD, Prof. (Czech Republic, Brno)
Chernaya N.V., Doctor of Engineering, Prof. (Belarus, Minsk)
Chernykh V.L., Doctor of Agriculture, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shirnin Yu.A., Doctor of Engineering, Prof. (Russia, Yoshkar-Ola)
Shtukin S.S., Doctor of Agriculture, Prof. (Belarus, Minsk)
Engelmann H.-D., Doctor of Engineering, Prof. (Germany, Emden)



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>Г.В. Соколова, А.Л. Верхотуров, В.А. Егоров.</i> Использование наземных и спутниковых наблюдений при анализе лесогидрологических процессов в бассейне р. Амур.....	9
<i>Н.М. Дебков, А.С. Ильинцев.</i> Оценка неистощительности лесопользования в рамках добровольной лесной сертификации по схеме FSC.....	23
<i>О.И. Гаврилова, В.Н. Гаврилов.</i> Формирование сосново-березовых молодняков на осушаемых переходных болотах Южной Карелии.....	36
<i>А.В. Грязькин, А.А. Кочкин, В.В. Петрик.</i> Динамика состава растительности нижних ярусов в парковых фитоценозах.....	46
<i>О.Н. Тюкавина, Д.Н. Клевцов, И.И. Дроздов, В.И. Мелехов.</i> Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания.....	56

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>С.Н. Орловский.</i> Обоснование технологии применения и компоновки тракторного агрегата для посадки лесных полос на опустыненных территориях.....	65
<i>А.А. Тамби, И.В. Григорьев, О.А. Куницкая.</i> Обоснование необходимости внедрения процессов промышленного лесопиления в структуру лесозаготовительной отрасли.....	76

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>Е.А. Памфилов, Е.В. Шевелева.</i> Особенности исследования изнашивания режущих инструментов для переработки древесных материалов.....	89
<i>А.Е. Алексеев, А.П. Алабышев.</i> Контроль плоскостности круглых пил.....	104
<i>М.Г. Ермоченков.</i> Кинетические параметры процесса сушки древесины.....	114

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>А.С. Смолин, Н.В. Щербак, М.А. Лоренгель, Е.В. Дубовой.</i> Оценка эффективности очистки воздуха минеральноволокнистыми сепараторными бумагами	126
<i>И.В. Захаров, Н.Л. Захарова, А.В. Канарский, Е.О. Окулова, Я.В. Казаков, Д.А. Дулькин.</i> Физико-механические свойства картона, обработанного биомодифицированным глютенном.....	135
<i>В.Н. Иванова, Д.Ю. Уварова, Л.Г. Махотина, Э.Л. Аким.</i> Переработка волокнистых полуфабрикатов высокого выхода.....	145

<i>С.Г. Лучинкин, В.А. Кожухов, Ю.Д. Алашкевич. Получение теплоизоляционных материалов на основе вторичного целлюлозного волокна.....</i>	151
<i>В.В. Гораздова, Е.В. Дернова. Влияние многослойного формования на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости картона.....</i>	160

ЮБИЛЕИ

<i>Б.В. Ермолин, Д.Н. Клевцов, С.А. Корчагов, С.Н. Марич, В.И. Мелехов, М.Д. Мерзленко, П.А. Феклистов. К юбилею профессора Николая Алексеевича Бабича</i>	170
<i>Л.В. Морозова, С.В. Любова, С.В. Коптев, С.В. Третьяков, А.А. Бахтин. Елена Николаевна Наквасина – педагог, ученый.....</i>	172
<i>Указатель статей за 2017 год.....</i>	174



CONTENTS

FORESTRY

<i>G.V. Sokolova, A.L. Verkhoturov, V.A. Egorov.</i> Use of Ground and Satellite Observations in the Analysis of Forest-Hydrological Processes in the Catchment of the Amur River.....	9
<i>N.M. Debkov, A.S. Il'intsev.</i> Assessment of Sustainable Forestry within the FSC Voluntary Forest Certification Scheme.....	23
<i>O.I. Gavrilova, V.N. Gavrilov.</i> Formation of Pine and Birch Young Forests on Drained Transitional Mires of South Karelia.....	36
<i>A.V. Gryaz'kin, A.A. Kochkin, V.V. Petrik.</i> Dynamics of Understory Vegetation Structure in the Park Phytocenosis.....	46
<i>O.N. Tyukavina, D.N. Klevtsov, I.I. Drozdov, V.I. Melekhov.</i> Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions.....	56

WOOD EXPLOITATION

<i>S.N. Orlovskiy.</i> Technology and Structural Configuration of a Tractor Unit for Forest Strip Planting in Desertified Territories.....	65
<i>A.A. Tambi, I.V. Grigor'ev, O.A. Kunitskaya.</i> The Rationale for Implementation of Industrial Sawmilling Processes in the Logging Industry.....	79

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

<i>E.A. Pamfilov, E.V. Sheveleva.</i> A Study of Cutter Wear Rate for Wood-Based Materials Processing.....	89
<i>A.E. Alekseev, A.P. Alabyshv.</i> Flatness Control of Circular Saws.....	104
<i>M.G. Ermochenkova.</i> Kinetic Parameters of Wood Drying Process.....	114

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

<i>A.S. Smolin, N.V. Shcherbak, M.A. Lorengel', E.V. Dybovoy.</i> Estimating Efficiency of Air Cleaning by Mineral Fiber Separator Papers.....	126
<i>I.V. Zakharov, N.L. Zakharova, A.V. Kanarskiy, E.O. Okulova, Ya.V. Kazakov, D.A. Dul'kin.</i> Physical and Mechanical Properties of Cardboard Processed by Biomodified Gluten.....	135
<i>V.N. Ivanova, D.Yu. Uvarova, L.G. Makhotina, E.L. Akim.</i> High-Yield Pulp Processing	145
<i>S.G. Luchinkin, V.A. Kozhukhov, Yu.D. Alashkevich.</i> Production of Thermal Insulating Materials on the Basis of the Secondary Cellulose Fiber.....	151

V.V. Gorazdova, E.V. Dernova. The Influence of Multilayer Formation on Strength, Deformation and Fracture Toughness Characteristics of Board..... 160

JUBILEES

B.V. Ermolin, D.N. Klevtsov, S.A. Korchagov, S.N. Marich, V.I. Melekhov, M.D. Merzlenko, P.A. Feklistov. On the Anniversary of Professor Nikolay A. Babich..... 170

L.V. Morozova, S.V. Lyubova, S.V. Koptev, S.V. Tret'yakov, A.A. Bakhtin. Elena N. Nakvasina – a Teacher, a Scientist..... 172

Index of Articles Issued in 2017..... 174



УДК 630*(556.5.06+528)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.9

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ НАЗЕМНЫХ И СПУТНИКОВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ ПРИ АНАЛИЗЕ ЛЕСОГИДРОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В БАССЕЙНЕ р. АМУР*

Г.В. Соколова¹, канд. геогр. наук

А.Л. Верхотуров², науч. сотр.

В.А. Егоров³, канд. техн. наук

¹Институт водных и экологических проблем ДВО РАН, ул. Дикопольцева, д. 56, г. Хабаровск, Россия, 680000; e-mail: pozhar@iver.as.khb.ru

²Вычислительный центр ДВО РАН, ул. Дикопольцева, д. 56, г. Хабаровск, Россия, 680000; e-mail: andrey@ccfebras.ru

³Институт космических исследований РАН, ул. Профсоюзная, д. 84/32, Москва, Россия, 117997; e-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

Многолетние исследования ученых подтверждают влияние сокращения лесного покрова на изменение водного режима рек. Необходимо изучать и проводить оценку режима рек совместно с анализом данных лесопокрываемой площади речных водосборов за синхронные периоды времени. Однако это осложняется слабой изученностью из-за редкой сети (порой и отсутствия) пунктов гидрометеорологических наблюдений, а также нерегулярностью лесоустроительных работ, связанной с труднодоступностью бассейнов рек, что присуще большей части территории Дальнего Востока России. С развитием методов и технологий дистанционного зондирования Земли и средств геоинформационных систем появилась возможность проводить такие исследования на новом уровне, базирующемся на спутниковом картографировании растительности с использованием алгоритмов классификации. Преимуществом такого подхода является возможность осуществления ежегодного мониторинга изменения лесопокрываемой территории за вегетационный период, включая труднодоступные районы. При этом

*При обработке данных были использованы ресурсы центра коллективного пользования «Центр данных ДВО РАН». Исследования проведены при частичной поддержке целевой комплексной программы ДВО РАН «Спутниковый мониторинг Дальнего Востока для проведения фундаментальных исследований» (гос. регистрация – № 01.20.0.2.00164) и гранта Министерства образования и науки Хабаровского края на реализацию проектов в 2017 г. в области фундаментальных и технических наук № 200/2017Д.

Для цитирования: Соколова Г.В., Верхотуров А.Л., Егоров В.А. Использование наземных и спутниковых наблюдений при анализе лесогидрологических процессов в бассейне р. Амур // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 9–22. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.9

исключаются неточности, которые могут возникать в различных статистических и отчетных материалах лесоустройства. Нами представлены результаты исследований, проведенных в бассейне р. Амур с использованием данных метеорологических и гидрологических наблюдений и дистанционного зондирования Земли за период 2000–2013 гг. Гидрологическая информация получена с web-сервиса Центра российского регистра гидротехнических сооружений и Государственного водного кадастра, спутниковая информация по растительности – с сервиса ВЕГА ДВ. Метеорологические данные включали базы данных, содержащие климатические показатели территории (Проект ISTC № 4010). Векторные данные границ водосборов получены средствами геоинформационной системы ArcGIS по высотным данным рельефа SRTM3. На примере трех рек (Бурея, Большая Бира, Амгунь) бассейна р. Амур показана синхронная динамика наивысших годовых уровней воды и изменчивости лесных площадей водосборов в результате пожаров и рубок. Дано современное состояние лесогидрологических исследований на Дальнем Востоке в бассейне р. Амур. Сделаны выводы о существенном влиянии длительного сведения лесов в этом районе на увеличение годового максимума дождевых паводков. Предложен «бассейновый» метод определения показателя лесистости на водосборах рек с использованием технологий дистанционного зондирования Земли.

Ключевые слова: водосборы рек бассейна р. Амур, наивысшие годовые уровни воды, лесистость, спутниковое картографирование, геоинформационные системы.

Введение

Во всем мире усугубляется проблема изменения влияния леса на среду и водность рек в условиях сокращения площади лесов в результате массовых пожаров и рубок. Изучение и оценка режима рек на основе анализа данных лесопокрытой площади речных водосборов за синхронные периоды времени – одна из ключевых задач, решение которой осложняется нерегулярными лесоустроительными работами, что связано с труднодоступностью бассейнов рек, присущей большей части территории Дальнего Востока России, сокращением пунктов сети гидрометеорологических наблюдений. Очевидна необходимость применения системного подхода к исследованиям лесогидрологических процессов, что позволило бы ежегодно получать данные о территории бассейна р. Амур. С развитием методов и технологий дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) и геоинформационных систем (ГИС) появилась возможность проводить такие исследования на более качественном уровне.

Цель исследования – изучение изменчивости растительного покрова речных водосборов бассейна рек Среднего и Нижнего Амура (от истока до замыкающего водосбор гидрологического поста) с 2000 по 2013 г. и оценка ее влияния на водность рек (высоту волны дождевых паводков). Ограниченные наземные данные о динамике лесопокрытой площади в пределах границ лесхозов и отсутствие этих данных в пределах границ водосборов не позволяют проанализировать влияние состояния нарушенных лесных площадей в бассейнах рек на водный режим. Базовым источником инструментальных данных при проведении лесогидрологических работ являются современные технологии ДЗЗ, которые считаются объективными и свободными от искажений на лесных территориях бассейна р. Амур в локальных условиях климата и рельефа при малой плотности гидрологических постов.

Известно множество публикаций по оценке влияния изменений залесенности водосборов на гидрологический режим рек [1, 14, 15, 16, 18 и др.]. Существенные изменения растительного покрова происходят в результате частых лесных пожаров и интенсивных рубок. Эксплуатация лесов Дальнего Востока началась в 1950-х гг. с разработки кедровников [11], которые вместе с ельниками служили главным объектом лесозаготовок. В те годы леса в бассейне Нижнего Амура занимали до 70...85 % площадей, а залесенность отдельных водосборов достигала 90...100 % [5]. В 1970-х гг. территория бассейна р. Амур все еще оставалась одной из самых лесистых районов мира, в ее пределах располагалось 58 % всех дальневосточных лесов и 43 % лесов Читинской области [4, 5].

На Дальнем Востоке, по данным учета лесного фонда, приведенным в коллективной монографии лесоводов [8], объем древесины хвойных пород, заготавливаемой по системе сплошных промышленных рубок, достигает 65...75 %. В бассейне р. Амур вследствие чрезмерного изреживания лесов более половины лесопокрытых площадей имеют полноту древостоя 0,5 и ниже [8]. Вырубаются и изреживаются все новые и новые лесные территории, а горят они в основном в одних и тех же районах – на свежих или старых вырубках. Именно на них пожары не только начинаются, но и набирают силу, что явно указывает на преобладание человеческого фактора над природно-климатическим. В облесенных водосборах горных рек бассейна Амура, где прошли обширные лесные пожары, нарушался не только древостой, но и лесная подстилка и напочвенный покров, которые впитывают атмосферную влагу, пополняя грунтовые воды.

Интегральным показателем всех спонтанных и антропогенных изменений географической среды является речной сток. Его изменчивость в связи с сокращением лесистости бассейнов рек Среднего и Нижнего Амура изучается с 1950–1960-х гг. [3, 12]. В те годы лесогидрологические разработки базировались на полевых материалах лесоустройства по таксационным выделам, которые затем усреднялись для всей территории лесничества, с использованием массовых сетевых наблюдений Госкомгидромета по речному стоку и климату. Однако не на всех территориях бассейнов рек выполнялись плановые лесоустроительные работы, чтобы эти данные можно было связать с гидрологическим режимом рек. В основном решалась проблема водообеспеченности района, а речной сток рассматривался как одна из главных составляющих водного баланса территории.

Объекты и методы исследования

В связи с развитием в настоящее время методов ДЗЗ и ГИС-технологий появилась возможность проводить исследования режима рек на новом уровне. В частности, применяется спутниковое картографирование растительности с использованием алгоритмов классификации. Преимущество такого подхода – проведение ежегодного мониторинга изменения лесопокрытой территории в течение всего вегетационного периода, включая и труднодоступные участки.

Согласно выводам, сделанным нами ранее [9, 10], для исследований выбраны актуальные водосборы рек бассейна Амура, в которых леса наиболее часто подвергались пожарам и рубкам.

При построении полигонов исследований были применены высотные данные рельефа SRTM3 [17] и средства ГИС ArcGIS. Используя данные по гидрологическим постам [4–6], с помощью инструмента Hydrology модуля Spatial Analyst Toolbox (модель восьминаправленного стока D8 [13]) были выделены водосборы модельных рек. Космоснимок районов исследований с выделением контуров трех модельных водосборов (р. Большая Бира – г. Биробиджан (внизу), р. Буря – с. Усть-Ниман (слева), р. Амгунь – с. Гуга (справа)) приведен на рис. 1.

Рис. 1. Космоснимок районов исследований лесных водосборов рек бассейна Среднего и Нижнего Амура (модельные водосборы выделены белым контуром)



Источник гидрологической информации – данные Центра российского регистра гидротехнических сооружений и Государственного водного кадастра и web-сервисы [7]. Для анализа климатических условий лесной среды использованы рабочие базы метеорологических данных (Проект ISTC № 4010 [9, 10]). Спутниковая информация содержит данные о площадях растительности на водосборах по четырем существующим типам (лес, степь, луг, болото) и на послепожарных гарях, включая площади рубок, за каждый год (с 2000 по 2013 г.). В качестве спутниковой информации по растительности выступал сервис ВЕГА ДВ [2]. Векторные данные границ водосборов были получены средствами системы ArcGIS по высотным данным рельефа SRTM3 [17]. Анализ изменения лесопокрытых площадей в рамках выделенных водосборов проведен на основе изучения серии карт растительного покрова, предоставленных Институтом космических исследований РАН с использованием данных прибора MODIS, установленного на спутнике Terra, и метода локальной адаптивной классификации LAGMA [2, 13].

Методика обработки и анализа спутниковой информации, представленной по всем существующим типам растительности, заключалась в следующем. Лес рассматривался как тип растительности: прямостоящий (хвойный и лиственный) и стелющийся (кедровостланичники) лес. Из спутниковой информации для каждого речного бассейна за каждый год выбирались данные по трем лесным формациям, как это принято при лесоустройстве: хвойный лес,

лиственный лес, хвойные кустарники. Для получения данных о площади хвойного леса суммировались площади темно- и светлохвойных вечнозеленых лесов и лиственничников (хвойных листопадных, включая их редины). Площадь лиственного леса состояла из площадей, занятых мелколиственными (мягколиственными) и крупнолиственными (твердолиственными) породами деревьев, смешанными лесами с преобладанием хвойных или лиственных пород.

В бассейнах рек с горным рельефом и суровым климатом (Амгунь, Буряя, Горин, Кур, Урми) методами ДЗЗ ежегодно фиксировались еще и площади лиственных кустарников и кустарниковой тундры, которые также учитывались при подсчете лесистости речного водосбора.

Площадь свежих гарей по каждому водосбору включала в себя площадь не только послепожарных гарей, но и вырубок. Строились хронологические графики динамики площадей лесов и гарей, совмещенные с максимальными годовыми уровнями воды по замыкающему данный водосбор гидроствору. На речном водосборе анализировалась динамика трех совмещенных природных характеристик системы «лес–гари–вода».

Результаты исследования и их обсуждение

Полученные нами с применением методов ДЗЗ результаты определения площади речного водосбора от истока до гидрологического поста и его лесистости в сравнении с ранее опубликованными данными приведены в таблице.

Площадь водосборов и лесистость модельных рек бассейна Среднего и Нижнего Амура

Река (гидрологический пост – пункт наблюдений)	Площадь, км ²		Лесистость, %	
	Опубликовано [4–6]	ДЗЗ	Опубликовано [4–6]	ДЗЗ (2000–2013 гг.)
Амгунь (с. Гуга)	41 000	40 636	71	68,8
Биджан (с. Биджан)	7 000	7 244	69	52,3
Большая Бира (г. Биробиджан)	7 560	7 548	86	86,9
Буряя (с. Усть-Ниман)	26 500	26 364	87	76,7
Горин (с. Бактор)	18 300	18 333	75	65,0
Кур (с. Новокуровка)	11 600	11 487	82*	81,0
Манома (с. Манома 1-я)	2 220	2 448	94	92,3
Нимелен (с. Осипенко)	14 100	13 882	–	71,9
Тырма (у ж/д моста)	6 550	6 561	83**	78,8
Урми (с. Кукан)	10 600	10 466	85	90,1
Хор (пос. Хор)	24 500	23 929	– ***	96,3
Яурин (с. Аланап)	3 130	3 138	83**	80,3

* По пункту наблюдений р. Кур – устье руч. Синки, расположенному выше с. Новокуровка (по течению реки) на 28 км (площадь водосбора – 11 400 км²).

** Средняя по району величина залесенности [5, с. 105].

*** Отсутствуют показатели лесистости по всем водосборам рек бассейна Усури (правый приток р. Нижний Амур) [6].

Как видно из таблицы, площади речных водосборов, рассчитанные методами ДЗЗ, практически не отличаются от опубликованных ранее, которые в те годы (1950–1960-х гг.) определялись вручную по крупномасштабным картам с помощью планиметра. Средняя за 2000–2013 гг. лесистость по каждому водосбору в основном уменьшилась за последние полвека. Исключение составляет горнотаежный бассейн р. Урми, где наблюдается увеличение залесенности вследствие снижения числа лесных пожаров и труднодоступности территории для рубок (средняя площадь свежих гарей – 324 га/год).

Рассмотрим территорию Еврейской автономной области, которая, по данным ДальНИИЛХ [8], имеет наибольшую горимость лесов в Дальневосточном федеральном округе. Очевидно, что это должно отразиться на уменьшении лесопокрытой площади и, с большой вероятностью, на водности р. Большая Бира, пересекающей эту территорию в створе гидропоста г. Биробиджан. Спутниковые данные с точным пространственным охватом лесопокрытой площади за предшествующие годы в связи с динамикой наивысших годовых уровней воды р. Большая Бира у г. Биробиджан позволяют выполнить объективную оценку взаимодействия этих природно-климатических факторов (рис. 2, см. таблицу).

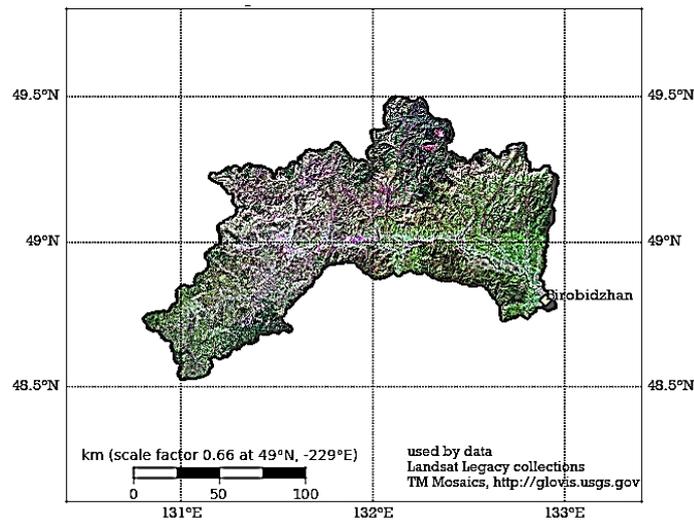


Рис. 2. Водосбор р. Большая Бира от ее истока до г. Биробиджан

Несмотря на благоприятные для лесной растительности метеорологические условия, которые выявлены нами ранее по международному проекту ISTC [9, 10], площадь лесов за 13 лет постепенно сокращалась под антропогенным гнетом (в результате пожаров по вине человека и рубок). Особенно пострадали смешанные леса (рис. 3, *a*), при этом отмечается положительный тренд годовых максимумов воды в реке (рис. 3, *b*) вплоть до 2013 г. в связи с катастрофическими наводнениями на реках Амур и Большая Бира (впадает в р. Амур).

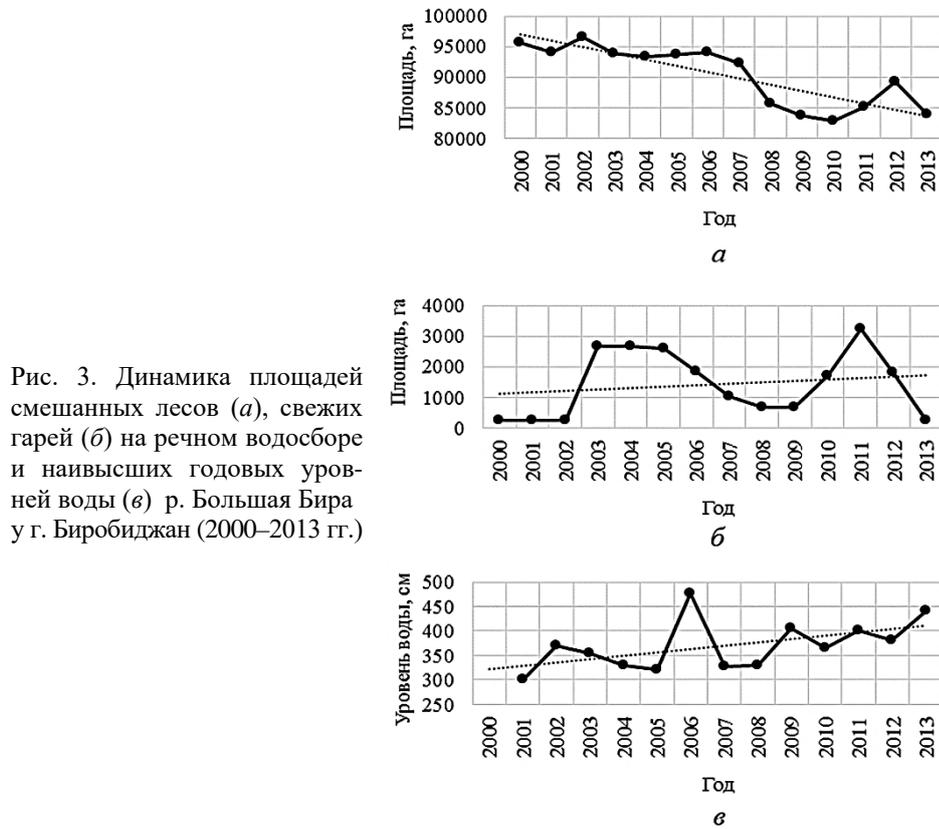


Рис. 3. Динамика площадей смешанных лесов (а), свежих гарей (б) на речном водосборе и наивысших годовых уровней воды (в) р. Большая Бира у г. Биробиджан (2000–2013 гг.)

В бассейне р. Буря – с. Усть-Ниман (рис. 4), расположенном выше (по течению реки) верхней границы Бурейского водохранилища, изменение площадей лесов и свежих гарей с 2000 по 2013 г. имеет почти зеркальное отражение.

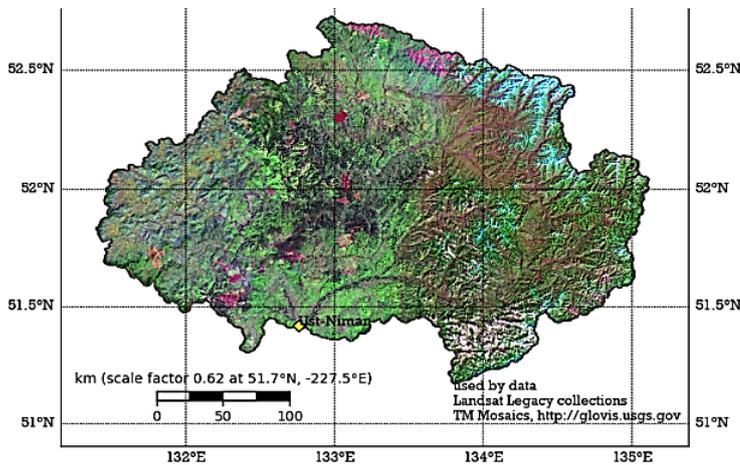


Рис. 4. Водосбор р. Буря от ее истока до с. Усть-Ниман

При сложившихся за этот период условиях, когда изменчивость лесопокрытой площади характеризовалась отрицательным трендом, в режиме р. Буреи отмечается тенденция увеличения максимальных отметок дождевых паводков в замыкающем гидростворе с. Усть-Ниман (рис. 5, см. таблицу).

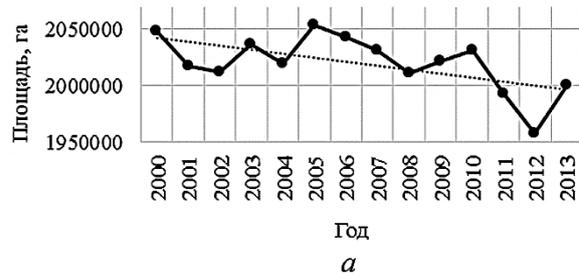
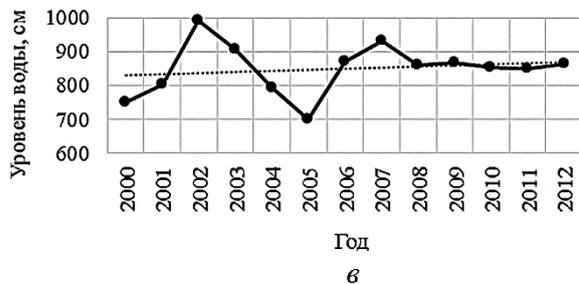


Рис. 5. Динамика площадей лесов (а), свежих гарей (б) на речном водосборе и наивысших годовых уровней воды (в) р. Бурея у с. Усть-Ниман (2000–2013 гг.)



Аналогичная картина наблюдается и в бассейне р. Амгунь с площадью водосбора от истока до гидропоста у с. Гуга (рис. 6, см. таблицу). Здесь отмечается уменьшение лесных площадей, это особенно заметно по изменению площадей светлохвойных вечнозеленых (сосна) лесов (рис. 7, а).

Изменчивость лесопокрытой площади сосновых лесов характеризуется отрицательным трендом. В режиме р. Амгунь наблюдается тенденция увеличения максимальных отметок дождевых паводков в створах, расположенных выше и ниже по течению реки (относительно с. Гуга, до которого рассчитана

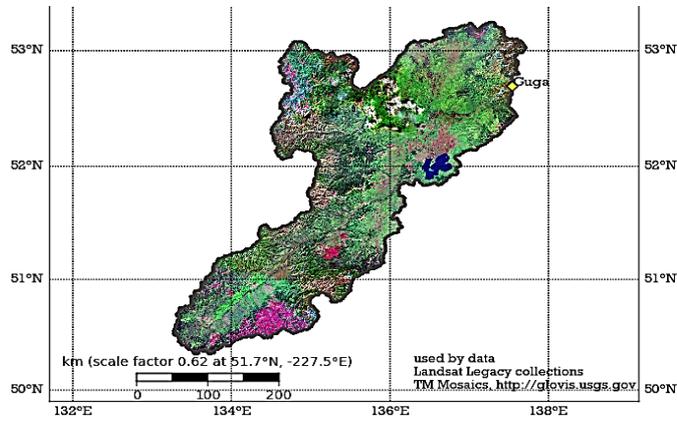


Рис. 6. Водосбор р. Амгунь от ее истока до с. Гуга

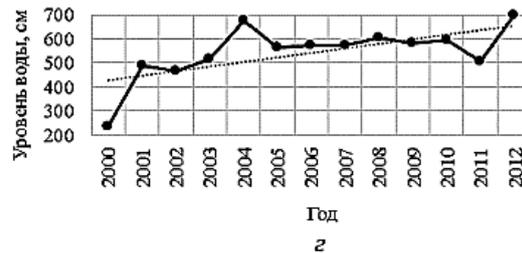
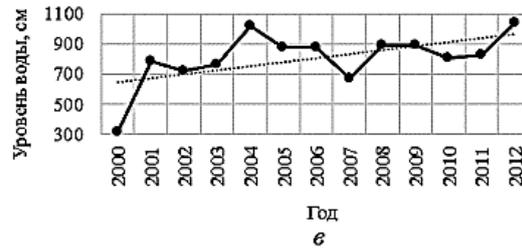
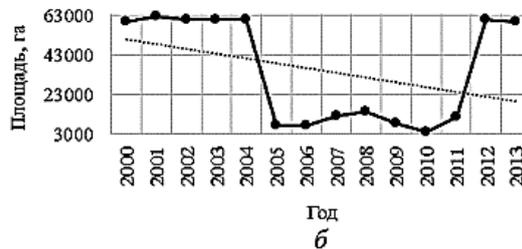
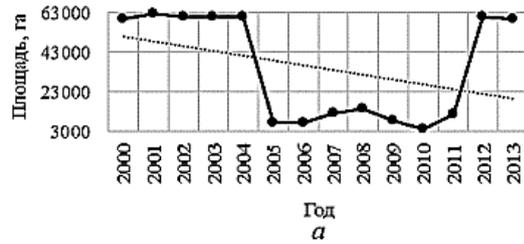


Рис. 7. Динамика площадей сосновых лесов (а), свежих гарей (б) и наивысших годовых уровней воды р. Амгунь (в, г): в – у с. Осипенко (выше с. Гуга по течению реки); г – у с. Удинское (ниже с. Гуга по течению реки) (2001–2013 гг.)

площадь лесов методом ДЗЗ). По данным метеостанции им. П. Осипенко, на территории речного бассейна с 2000 г. не было засух [9, 10], которые могли способствовать размножению древесных вредителей, повреждающих леса, что указывает на основную роль антропогенного фактора в уничтожении лесов в сравнении с погодно-климатическими условиями.

Выводы

Результаты анализа комплексных хронологических графиков распределения годовых максимумов воды в замыкающем водосбор гидростворе, площадей лесной растительности и свежих гарей (после пожаров и вырубок) на водосборе, а также метеоэлементов среды обитания растений подтверждают выводы, сделанные нами ранее [1, 9, 10].

В ходе исследований установлено:

1. На основе спутниковой информации об изменчивости лесопокрытой площади речных водосборов с 2000 по 2013 г. выявлена тенденция уменьшения лесопокрытой площади за счет уничтожения лесов обширными пожарами и рубками. Кривые распределения площадей леса и свежих гарей на хронологических графиках имеют почти зеркальное отражение.

2. Сопоставление тенденции уменьшения лесопокрытой площади речных водосборов с 2000 г. с природно-климатическими факторами (обильные весенне-летние осадки, высокое предшествующее увлажнение почвы), изученными нами ранее [1, 9, 10], указывает на существенное влияние многолетней деятельности человека на территории бассейна р. Амур. Это сказывается на водном режиме рек: положительные тренды пиков дождевых паводков в замыкающем водосбор гидростворе соответствуют отрицательным трендам лесопокрытой площади на модельных водосборах.

3. Предлагается «бассейновый» метод определения показателя лесистости (т. е. учет отношения лесопокрытой площади речного бассейна к общей площади водосбора до замыкающего поста по данным ДЗЗ). При этом данные ДЗЗ относительно площадей по типам растительности на больших территориях за многолетний период наблюдений более объективны и лишены искажений.

В перспективе полученные результаты позволяют создать ГИС, необходимую для проведения лесогидрологических исследований на современном уровне.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Верхотуров А.Л., Соколова Г.В., Погорелов С.А.* Совместный анализ данных спутниковых и наземных наблюдений при исследовании гидрологического режима водосборов рек (на примере Среднего и Нижнего Амура) // Вестн. Новосиб. гос. ун-та. Сер.: Информ. технологии. 2016. Т. 14, № 1. С. 5–12.

2. *Лулян Е.А., Савин И.Ю., Барталев С.А., Толтин В.А., Балашов И.В., Плотников Д.Е.* Спутниковый сервис мониторинга состояния растительности («Вега») // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2011. Т. 8, № 1. С. 190–198.
3. *Опритова Р.В.* Надземная фитомасса лесов и речной сток в Южном Сихотэ-Алине. Владивосток: ДВО АН СССР, 1991. 118 с.
4. Ресурсы поверхностных вод СССР Т. 18. Дальний Восток. Вып. 1. Верхний и Средний Амур. Л.: Гидрометеиздат, 1966. 781 с.
5. Ресурсы поверхностных вод СССР Т. 18. Дальний Восток. Вып. 2. Нижний Амур. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 592 с.
6. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 18. Дальний Восток. Вып. 3. Приморье. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 627 с.
7. Российский регистр гидротехнических сооружений. Режим доступа: <http://waterinfo.ru/gts/index.php> (дата обращения: 03.02.2013).
8. Современное состояние лесов российского Дальнего Востока и перспективы их использования / под ред. А.П. Ковалева. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2009. 470 с.
9. *Соколова Г.В.* Метод долгосрочного прогноза показателей пожарной опасности в лесах Приамурья на основе учета параметров атмосферной циркуляции // Лесн. журн. 2014. № 5. С. 50–62. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. *Соколова Г.В., Макогонов С.В.* Разработка методики лесопирологического прогноза (на примере Дальнего Востока) // Метеорология и гидрология. 2013. № 4. С. 12–18.
11. *Соловьев К.П.* Кедрово-широколиственные леса Дальнего Востока и хозяйство в них. Хабаровск: Хабар. кн. изд-во, 1958. 367 с.
12. *Широкова М.Р.* Регулирующая роль леса в бассейне Нижнего Амура // Материалы Всесоюз. совещ. по водоохранно-защитной роли горных лесов, 13–17 авг. 1976 г. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО РАН, 1976. С. 8–12.
13. *Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A.* A New Locally-Adaptive Classification Method LAGMA for Large-Scale Land Cover Mapping Using Remote-Sensing Data // Remote Sensing Letters. 2014. No. 5(1). Pp. 55–64.
14. *Bonell M.* Possible Impacts of Climate Variability and Change on Tropical Forest Hydrology // Climatic Change. 1998. Vol. 39, iss. 2-3. Pp. 215–272.
15. *Jenson S.K., Domingue J.O.* Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis // Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. 1988. No. 54(11). Pp. 1593–1600.
16. *Jones J.A., Post D.A.* Seasonal and Successional Streamflow Response to Forest Cutting and Regrowth in the Northwest and Eastern United States // Water Resources Research. 2004. Vol. 40, iss. 5.
17. SRTM Data. Режим доступа: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3/ (дата обращения: 06.06.2016).
18. *Swank W.T., Swift L.W. Jr., Douglas J.E.* Streamflow Changes Associated with Forest Cutting, Species Conversions, and Natural Disturbances // Forest Hydrology and Ecology at Coweeta / Ed. by T. Wayne, D.A. Swank, D.A. Crossley. New York: Springer, 1988. Pp. 297–312.

Поступила 18.05.17

UDC 630*(556.5.06+528)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.9

Use of Ground and Satellite Observations in the Analysis of Forest-Hydrological Processes in the Catchment of the Amur River

G.V. Sokolova¹, Candidate of Geographic Sciences

A.L. Verkhoturov², Research Officer

V.A. Egorov³, Candidate of Engineering Sciences

¹Institute of Water and Ecological Problems, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Dikopol'tseva, 56, Khabarovsk, 680000, Russian Federation; e-mail: pozhar@ivep.as.khb.ru

²Computing Centre, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, ul. Dikopol'tseva, 56, Khabarovsk, 680000, Russian Federation; e-mail: andrey@ccfebras.ru

³Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences, ul. Profsoyuznaya, 84/32, Moscow, 117997, Russian Federation; e-mail: smis@smis.iki.rssi.ru

Long-term studies of scientists confirm the effect of forest cover reducing on changes in the water regime of rivers. We should study and assess the regime of rivers in conjunction with the analysis of data of forest-covered area of river watersheds for synchronous periods of time. However, this is complicated by poor knowledge due to the rare network of hydrometeorological observation points, as well as by irregular forest management works related to the inaccessibility of river basins, which is inherent to the great territory of the Far East of Russia. We have the possibility to conduct such studies at a new level based on satellite vegetation mapping using the classification algorithms due to the development of methods and technologies for remote sensing of the Earth and GIS. The advantage of this approach is the possibility of annual monitoring of changes in forest cover during the vegetation period, including hard-to-reach areas. At the same time, inaccuracies that may occur in various statistical and reporting materials of the forest inventory are excluded. We present the results of studies conducted in the basin of the Amur river with the use of meteorological and hydrological observations and remote sensing data for the period of 2000–2013. Hydrological information is obtained from the web-service of the Center of the Russian Register of Hydraulic Structures and the State Water Cadastre; satellite information on vegetation – from the VEGA DV service. Meteorological data include databases containing climatic indicators of the territory (Project ISTC no. 4010). The vector data of the watershed boundaries are obtained by means of the geographic information system ArcGIS from the high-altitude data of the relief SRTM3. By the example of three rivers (Bureya, Bolshaya Bira, Amgun) of the Amur river basin we demonstrate the synchronous dynamics of the highest annual high water levels and the variability of forest areas of catchments as a result of fires and felling. The present state of forest hydrological studies in the Far East in the Amur river basin is given. The authors draw conclusions about the significant influence of long-term forest clearance in this region on an increase

For citation: Sokolova G.V., Verkhoturov A.L., Egorov V.A. Use of Ground and Satellite Observations in the Analysis of Forest-Hydrological Processes in the Catchment of the Amur River. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 9–22. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.9

in the annual maximum of rainfall floods. A “basin” method for determining the indicator of forest cover in catchments of rivers using remote sensing technologies of the Earth is proposed.

Keywords: watershed of rivers of the Amur river basin, highest annual high water level, forest cover, satellite mapping, GIS.

REFERENCES

1. Verkhoturov A.L., Sokolova G.V., Pogorelov S.A. Sovmestnyy analiz dannykh sputnikovykh i nazemnykh nablyudeniy pri issledovanii gidrologicheskogo rezhima rek (na primere Srednego i Nizhnego Amura) [Joint Analysis of Satellite Data and Ground-Based Observations in the Study of the Hydrological Regime of Watersheds Rivers (on Example of the Middle and Lower Amur)]. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Informatsionnye tekhnologii* [Novosibirsk State University Journal of Information Technologies], 2016, vol. 14, no. 1, pp. 5–12.
2. Lupyay E.A., Savin I.Yu., Bartalev S.A., Tolpin V.A., Balashov I.V., Plotnikov D.E. Sputnikovyy servis monitoringa sostoyaniya rastitel'nosti («Vega») [Satellite Service for Vegetation Monitoring VEGA]. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz Kosmosa* [Current Problems in Remote Sensing of the Earth from Space], 2011, vol. 8, no. 1, pp. 190–198.
3. Opritova R.V. *Nadzemnaya fitomassa lesov i rechnoy stok v yuzhnom Sikhote-Aline* [Overground Phytomass of Forests and River Runoff in the Southern Sikhote Alin]. Vladivostok, DVO RAN Publ., 1991. 118 p. (In Russ.)
4. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 18. Dal'niy Vostok. Vyp. 1. Verkhniy i Sredniy Amur* [Resources of Surface Waters of the USSR. Vol. 18. The Far East. Iss. 1. The Upper and Middle Amur River]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1966. 781 p. (In Russ.)
5. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 18. Dal'niy Vostok. Vyp. 2. Nizhniy Amur* [Resources of Surface Waters of the USSR. Vol. 18. The Far East. Iss. 2. The Lower Amur River]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1970. 592 p. (In Russ.)
6. *Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 18. Dal'niy Vostok. Vyp. 3. Primor'e* [Resources of Surface Waters of the USSR. Vol. 18. The Far East. Iss. 3. Primorye]. Leningrad, Gidrometeoizdat Publ., 1972. 627 p. (In Russ.)
7. *Rossiyskiy registr gidrotekhnicheskikh sooruzheniy* [Russian Register of Hydraulic Structures]. Available at: <http://waterinfo.ru/gts/index.php> (accessed 03.02.2013).
8. Kovalev A.P., ed. *Sovremennoe sostoyanie lesov rossiyskogo Dal'nego Vostoka i perspektivy ikh ispol'zovaniya* [The Current State of Forests of the Russian Far East and the Prospects for Their Use]. Khabarovsk, Dal'NIILKh Publ., 2009. 470 p. (In Russ.)
9. Sokolova G.V. Metod dolgosrochnogo prognoza pokazateley pozharnoy opasnosti v lesakh Priamur'ya na osnove ucheta parametrov atmosferynoy tsirkulyatsii [Long-Term Forecast Method of Fire Danger in the Priamurye Forests by Taking into Account the Parameters of Atmospheric Motion]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 5, pp. 50–62.
10. Sokolova G.V., Makogonov S.V. Razrabotka metodiki lesopirologicheskogo prognoza (na primere Dal'nego Vostoka) [Development of the Forest Fire Forecast Method (a Case Study for the Far East)]. *Meteorologiya i gidrologiya* [Russian Meteorology and Hydrology], 2013, no. 4, pp. 12–18.

11. Solov'ev K.P. *Kedrovo-shirokolistvennyye lesa Dal'nego Vostoka i khozyaystvo v nikh* [Cedar-Broadleaf Forests of the Far East and Farming]. Khabarovsk, Khabar. knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1958. 367 p. (In Russ.)

12. Shirokova M.R. Reguliruyushchaya rol' lesa v bassejne Nizhnego Amura [The Regulatory Role of Forest in the Basin of the Lower Amur River]. *Materialy vsesoyuznogo soveshchaniya po vodookhranno-zashchitnoy roli gornyykh lesov, 13–17 avg. 1976 g.* [Proc. All-Union Meeting on the Water Protection Role of Mountain Forests, 13–17 August 1976]. Krasnoyarsk, Inst. Forest SB RAS Publ., 1976, pp. 8–12. (In Russ.)

13. Bartalev S.A., Egorov V.A., Loupian E.A., Khvostikov S.A. A New Locally-Adaptive Classification Method LAGMA for Large-Scale Land Cover Mapping Using Remote-Sensing Data. *Remote Sensing Letters*, 2014, no. 5(1), pp. 55–64.

14. Bonell M. Possible Impacts of Climate Variability and Change on Tropical Forest Hydrology. *Climatic Change*, 1998, vol. 39, iss. 2-3, pp. 215–272.

15. Jenson S.K., Domingue J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 1988, no. 54(11), pp. 1593–1600.

16. Jones J.A., Post D.A. Seasonal and Successional Streamflow Response to Forest Cutting and Regrowth in the Northwest and Eastern United States. *Water Resources Research*, 2004, vol. 40, iss. 5.

17. *SRTM Data*. Available at: http://dds.cr.usgs.gov/srtm/version2_1/SRTM3 (accessed 06.06.2016).

18. Swank W.T., Swift L.W. Jr., Douglas J.E. Streamflow Changes Associated with Forest Cutting, Species Conversions, and Natural Disturbances. *Forest Hydrology and Ecology at Coweeta*. Ed. by T. Wayne, D.A. Swank, D.A. Crossley. New York, Springer, 1988, pp. 297–312.

Received on May 18, 2017

УДК 630*611

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.23

ОЦЕНКА НЕИСТОЩИТЕЛЬНОСТИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В РАМКАХ ДОБРОВОЛЬНОЙ ЛЕСНОЙ СЕРТИФИКАЦИИ ПО СХЕМЕ FSC*

Н.М. Дебков¹, канд. с.-х. наук, науч. сотр.

А.С. Ильинцев^{2,3}, магистр, науч. сотр.

¹Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, пр. Академический, д. 10/3, г. Томск, Россия, 634055; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

²Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13, г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: Iiintsev666@yandex.ru

³Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: Iiintsev666@yandex.ru

В статье рассматривается методика расчета неистощительности лесопользования на примере лесопромышленного предприятия, расположенного в Первомайском районе Томской области. Лесистость территории исследования составляет 94,8 %, общая площадь арендованных для заготовки древесины лесов – 49 628 га. Расчет произведен в рамках подготовки лесопромышленного предприятия к предварительному и основному аудитам лесопользования и внутренней цепочки поставок по национальному стандарту лесопользования Forest Stewardship Council. Цель исследования – разработка и апробация методики расчета неистощительности лесопользования, соответствующей требованиям нового стандарта лесопользования. Оценка неистощительности заключается в сравнении показателя ежегодной заготовки древесины в спелых и перестойных лесах, установленного требованиями проекта освоения лесов, со средними значениями прироста и размером расчетной лесосеки равномерного пользования. Распределение по группам возраста хвойного и мягколистного хозяйств показывает, что в еловой высокобонитетной и пихтовой хозяйственных секциях (хозсекциях) преобладают спелые и перестойные насаждения, крайне истощена рубками прошлого периода сосновая высокобонитетная хозсекция. Доказательством староосвоенности участка является также наличие больших площадей средневозрастных березняков и осинников. Установлено, что принятая расчетная лесосека на лесном участке обеспечивает необходимый уровень неистощительности в течение оборота рубки в пихтовой, березовой и осиновой хозсекциях. Рекомендуется оставлять ее для данных хозсекций на запланированном уровне на период действия проекта освоения

* Авторы выражают признательность директору ООО «Сорвижи-лес» С.И. Сластникову за обсуждение проблемы неистощительности и методическую помощь.

Для цитирования: Дебков Н.М., Ильинцев А.С. Оценка неистощительности лесопользования в рамках добровольной лесной сертификации по схеме FSC // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 23–35. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.23

лесов с последующим пересмотром в сторону увеличения нормы пользования по мягколиственному хозяйству. Выявлено, что в практике проектирования освоения лесов существует тенденция завышения размера лесопользования как общего, так и по наиболее ценным хозсекциям.

Ключевые слова: расчетная лесосека, неистощительность, хозяйственная часть, хозяйственная секция, прирост древесины, лесная сертификация, система Forest Stewardship Council.

Введение

В мире успешно развиваются несколько систем добровольной лесной сертификации. Наиболее распространена Forest Stewardship Council (FSC) [18], которая играет важную роль в обеспечении поддержания экологических функций лесов [10, 12–16] и благосостояния местных сообществ [11, 17, 19]. В России она также доминирует. По состоянию на конец 2016 г. сертифицированная площадь лесов в стране составляла 43,35 млн га, т. е. около четверти арендованных лесов страны.

В 2015 г. для обеспечения большей целостности системы FSC были разработаны так называемые единые международные индикаторы, представляющие собой международный стандарт лесопользования. Именно его принципы, критерии и индикаторы должны быть положены в основу национальных и региональных стандартов, в том числе и в разработанный в начале 2016 г. и представленный для обсуждения проект Российского национального стандарта добровольной лесной сертификации (FSC).

Одним из наиболее важных аспектов устойчивого лесопользования является обеспечение неистощительности лесопользования [3, 8, 9]. В действующем Российском национальном стандарте по схеме FSC имеется критерий 5.6, который требует, чтобы объемы заготовок лесной продукции не превышали уровня, обеспечивающего неистощительное лесопользование в долгосрочной перспективе, под которой понимается период времени продолжительностью до 40 лет. В проекте нового стандарта о неистощительности говорится в критерии 5.2: «Объем продукции и услуг, производимых организацией на территории единицы управления, в норме должен быть равным или ниже уровня неистощительного производства» [7, ст. 62]. При этом отличие требований и подходов нового стандарта заключается в том, что планируемый ежегодный объем заготовки древесины на управляемом лесном участке должен быть рассчитан по каждой хозсекции и на срок не менее оборота рубки. Важным нововведением является указание на недопустимость снижения площади спелых и перестойных насаждений ниже планируемого уровня для нормального распределения возрастных групп в течение оборота рубки.

В связи с этим цель работы заключалась в разработке и апробации методики расчета неистощительности лесопользования, соответствующей требованиям нового стандарта лесопользования.

Объекты и методы исследования

Исследование проведено при подготовке лесопромышленного предприятия к предварительному и основному аудитам лесопользования и внутренней цепочки поставок по национальному стандарту лесопользования FSC. Компания, у которой заключен долгосрочный договор аренды сроком на 49 лет, использует лесной участок площадью 49 628 га в Первомайском лесничестве Ореховского участкового лесничества (урочища «Берегаевское», «Ореховское», «Чичка-юльское»). Географические координаты центра участка: широта – 57°22'.905; долгота – 87°15'.738.

Ежегодный размер пользования на лесном участке рассчитан в соответствии с положениями лесопромышленной инструкции [5] и порядком исчисления расчетной лесосеки [6] отдельно для эксплуатационных и защитных лесов по хозяйствам. При вычислении расчетной лесосеки по хозсекциям за основу взят принцип пропорциональности в ее освоении с привязкой к площади спелых и перестойных насаждений в той или иной хозсекции. Данный принцип был рекомендован лесопромышленной компанией при ведении лесозаготовок и формировании лесных деклараций.

В соответствии с требованиями законодательства в рубку спелых и перестойных насаждений не назначены леса в границах особо защитных участков леса, спелые и перестойные лесные насаждения с запасом древесины 50 м³/га и менее.

Общая площадь участков, добровольно исключенных из освоения в эксплуатационных лесах, составляла 263,1 га. Это площади, занятые лесами высокой природоохранной ценности 5- и 6-го типов, а также репрезентативными эталонными участками экосистем. Их доля в лесопокрытой площади – 0,3 %. Площади данных участков эксплуатационных лесов, добровольно исключенные из освоения, учитывались при расчете неистощительности.

Проведение ухода за лесом при условии соблюдения нормативных требований не ведет к снижению прироста насаждений. Поэтому площадь и объем ухода за лесом также не учитывались при расчете неистощительности пользования.

В соответствии с действующим законодательством в защитных лесах не планируются сплошные рубки спелых и перестойных насаждений. В нашем случае проектом освоения лесов на участке также не запланированы и выборочные рубки спелых и перестойных насаждений.

Оценка неистощительности заключалась в сравнительном анализе показателя ежегодной заготовки древесины, установленного требованиями проекта освоения лесов, в спелых и перестойных лесах со средним значением прироста и размером расчетной лесосеки равномерного пользования. В целях проверки динамики соотношения возрастных групп насаждений на период оборота рубки (50 лет – для осины, 60 лет – для березы, 80 лет – для пихты, 100 лет – для сосны и ели) проведен расчет распределения возрастных групп по программе для вычисления объема пользования лесом, разработанной МРОО «СПОК» при поддержке проекта «Партнерство WWF и ИКЕА в области осуществления лесных проектов» [1, 2, 4]. Учитывалось, что при одном классе возраста средневозрастных насаждений нормальное соотношение групп возраста будет 33,3 % – 16,7 % – 16,7 % – 33,3 %; при двух – 28,6 % – 28,6 % – 14,3 % – 28,6 %; при трех – 25,0 % – 37,5 % – 12,5 % – 25,0 %.

Оборот рубки в нашем случае равнялся возрасту рубки, что сделано исходя из того, что все вырубленные площади будут своевременно возобновляться как естественным (сохранение подроста, минерализация, или зарращивание), так и искусственным (посев и посадка лесных культур) путем. При невыполнении этого условия оборот рубки следует увеличивать на длительность возобновительного периода. В случае ведения интенсивного лесного хозяйства с применением элементов расширенного воспроизводства лесов возможно даже снижение оборота рубки по сравнению с возрастом рубки.

Результаты исследования и их обсуждение

Проектом освоения лесов запланированы рубки в следующих хозяйственных секциях: пихтовая III класса бонитета со средним запасом в спелых и перестойных насаждениях 226 м³/га (возраст рубки – с 81 года); еловая высокобонитетная III класса бонитета со средним запасом в спелых и перестойных насаждениях 223 м³/га (со 101 года); сосновая высокобонитетная III класса бонитета со средним запасом в спелых и перестойных насаждениях 89 м³/га (со 101 года); березовая II класса бонитета со средним запасом в спелых и перестойных насаждениях 203 м³/га (с 61 года); осиновая I класса бонитета со средним запасом в спелых и перестойных насаждениях 269 м³/га (с 51 года).

Распределение по группам возраста хвойного и мягколиственного хозяйства, приведенное в таблице, показывает, что в еловой высокобонитетной и пихтовой хозсекциях преобладают спелые и перестойные насаждения. Доказательством староосвоенности участка является также наличие больших площадей средневозрастных березняков и осинников. Крайне истощена рубками прошлого периода сосновая высокобонитетная хозсекция, где только 8 % лесопокрытой площади занято спелыми и перестойными насаждениями. Низкая продуктивность данных сосняков, компактно расположенных на одной

из террас р. Чулым, обусловлена тем, что они находятся вблизи населенного пункта, жители которого самовольно заготавливали выборочными рубками древесину в этом массиве.

Характеристика возрастной структуры на лесном участке

Хозсекция	Распределение площадей по группам возраста, га			
	Молодняки	Средне-возрастные	Приспевающие	Спелые и перестойные
Пихтовая	430	553	784	3 362
Еловая высокобонитетная	393	575	362	1 161
Сосновая высокобонитетная	456	685	38	103
Березовая	2 136	9 845	1 811	9 404
Осиновая	1 943	1 284	451	1 163

Для экспресс-оценки неистощительности лесопользования ниже приведены расчеты, сравнивающие принятую лесоустройством расчетную лесосеку со средним приростом древесины лесных насаждений на 1 га лесопокрытой площади. Если вырубемый запас будет оставаться ниже этой величины, то неистощительность лесопользования в долгосрочной перспективе будет обеспечена. Однако при этом на участке должна быть выровненная (нормальная) возрастная структура или он должен представлять ранее неосвоенную территорию. Поскольку таежные леса Сибири (и не только) на первом этапе освоения представляют преимущественно перестойные, с точки зрения существующей практики лесопользования, леса, где прирост невысок, то при ориентировании на него будет происходить некоторое накопление площадей спелых и перестойных насаждений. В противном случае в связи с преобладанием молодняков, обладающих интенсивным приростом, чаще всего лесосека по среднему приросту будет являться истощительной. Поскольку в действительности нормальная возрастная структура практически не встречается, то необходимо осторожно опираться на показатели средних приростов. Скорее этот параметр служит некоторым ориентиром при оценке неистощительности лесопользования.

Изучаемый лесной участок характеризуется высокой лесистостью (покрытая лесом площадь – 94,8 %). Площадь, занимаемая древостоями пихтовой хозсекции, составляет 5 125,1 га, средний прирост на 1 га – 2,4 м³, т. е. ежегодный прирост лесов равен 12 300 м³. Расчетная лесосека установлена лесоустройством в размере 13 475 м³ ликвидной древесины и на 9,5 % выше среднего прироста, что в принципе допустимо, учитывая, что точность определения запаса примерно такая же. В пользу этого свидетельствует и средний возраст пихты (86 лет), который несколько выше возраста рубки.

Аналогичная ситуация наблюдается и в еловой высокобонитетной хозсекции, насаждения которой, занимая территорию в 2 445,1 га и имея средний прирост $2,0 \text{ м}^3/\text{га}$, продуцируют ежегодно $4 890 \text{ м}^3$ древесины. В данном случае принятая расчетная лесосека ($6 429 \text{ м}^3$) выше среднего прироста на 31 %, при этом средний возраст ели равен 99 годам, т. е. на 2 года ниже возраста рубки. Если в случае с пихтой отмечен пограничный характер установленной нормы пользования, то по еловой хозсекции однозначно можно утверждать, что расчетная лесосека истощительна и требует пересмотра.

Симптоматичное положение дел, характерное для староосвоенных лесов, наблюдается в сосновой высокобонитетной хозсекции, имеющей площадь 1282,2 га и весьма высокий средний прирост древостоев на 1 га ($3,9 \text{ м}^3$), который обеспечивает ежегодный прирост в $5 000 \text{ м}^3$. Формально, без учета возрастной структуры, установленная расчетная лесосека ($3 371 \text{ м}^3$) является неистощительной. Однако с учетом преобладания молодых и средневозрастных сосняков и моратория на рубку 18,4 га спелых и перестойных насаждений, где выделены репрезентативные участки, ее следует считать истощительной. При этом средний возраст сосны равен всего лишь 56 годам, т. е. практически в 2 раза ниже возраста рубки.

Площадь, занимаемая древостоями березовой хозсекции, составляет 23 221,0 га, средний прирост на 1 га – $2,8 \text{ м}^3$, т. е. ежегодный прирост лесов равен $65 018 \text{ м}^3$. Расчетная лесосека установлена лесоустройством в размере $22 974 \text{ м}^3$ ликвидной древесины. В данном случае предусмотренная проектом расчетная лесосека более чем в 2 раза ниже среднего прироста и однозначно является неистощительной. Однако необходимо взвешенно подходить к вопросу увеличения заготовок древесины в спелых и перестойных насаждениях этой хозсекции, поскольку средний возраст березы равен 42 годам, т. е. на 19 лет ниже возраста рубки. Можно увеличивать рубки ухода в средневозрастных насаждениях, используя прирост лесов данной хозсекции.

В осиновой хозсекции, насаждения которой, занимая территорию в 4 844,6 га и имея средний прирост $3,2 \text{ м}^3/\text{га}$, продуцируют ежегодно $15 500 \text{ м}^3$ древесины, наблюдается аналогичная ситуация. При этом принятая расчетная лесосека ($4 606 \text{ м}^3$) ниже среднего прироста более чем в 3 раза и однозначно является неистощительной. Обоснование увеличения нормы пользования должно учитывать, что средний возраст осины равен 26 годам, что существенно ниже (на 24 года) возраста рубки. Это также свидетельствует о большом потенциале прореживаний и проходных рубок.

Для более обоснованного заключения о степени неистощительности установленного размера пользования ниже приводятся расчеты, выполненные с использованием моделирования динамики возрастной структуры древостоев хвойного (рис. 1) и лиственного (рис. 2) хозяйств.

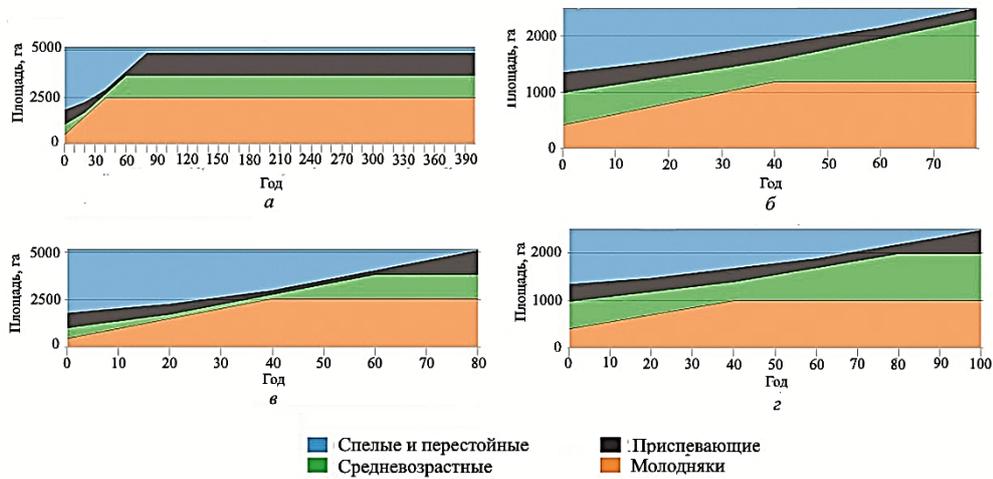


Рис. 1. Моделирование возрастной структуры древостоев хвойного хозяйства при установленной расчетной лесосеке (*a*, *б*) и методом равномерного пользования (*в*, *г*): *a*, *в* – пихтовая хозсекция; *б*, *г* – еловая хозсекция

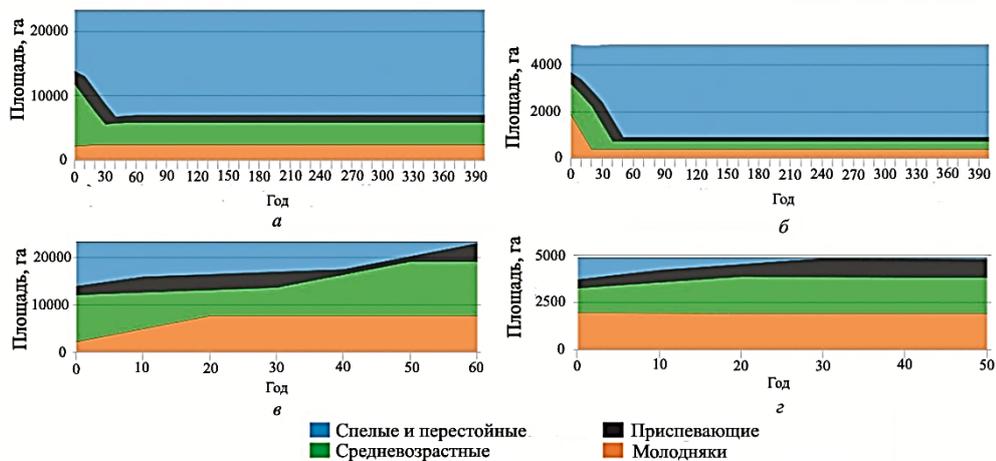


Рис. 2. Моделирование возрастной структуры древостоев лиственного хозяйства при установленной расчетной лесосеке (*a*, *б*) и методом равномерного пользования (*в*, *г*): *a*, *в* – березовая хозсекция; *б*, *г* – осиновая хозсекция

Расчет по пихтовой хозсекции показывает, что при установленном проекте освоения лесов размере заготовки древесины ($13\,475\text{ м}^3/\text{год}$) в случае полного освоения лесосечного фонда период лесопользования превысит оборот рубки.

Для сравнения показатель по лесосеке равномерного пользования несколько выше расчетной лесосеки (14 310 м³/год). При этом параметр площади спелых и перестойных насаждений, равный 33,3 %, будет достигнут на 51-й год, т. е. отсутствуют причины для снижения принятой нормы пользования в течение большей части оборота рубки.

Иная картина наблюдается по еловой высокобонитетной хозсекции, где в случае полного освоения лесосечного фонда (6 429 м³/год) период лесопользования будет меньше оборота рубки и составит 78 лет. Об истощительности принятой расчетной лесосеки свидетельствует и величина равномерного пользования, которая ниже на 17 % (5 499 м³/год). Достижение уровня требуемой доли площади спелых и перестойных насаждений (в данном случае 28,6 %) произойдет на 35-й год, т. е. отсутствуют причины для снижения принятой нормы пользования в течение действия проекта освоения лесов, но в перспективе расчетную лесосеку потребуется уменьшить.

Крайняя истощенность сосновой высокобонитетной хозсекции привела к тому, что при полном использовании расчетной лесосеки (3 371 м³/год) период лесопользования составит всего 2 года, в течение которых будут вырублены все спелые сосновые насаждения. При этом показатель площади спелых и перестойных насаждений, равный 28,6 %, не будет достигнут, поскольку доля спелых сосняков значительно меньше. В связи с этим на период действия текущего проекта освоения лесов рекомендуется принять объем лесопользования по нормальной лесосеке для выравнивания возрастной структуры (1 035 м³/год) или вообще отказаться от ведения лесозаготовок.

Расчет по березовой хозсекции показывает, что при установленном проекте освоения размере заготовки древесины (22 974 м³/год) в случае полного освоения лесосечного фонда период лесопользования превысит оборот рубки. Для сравнения показатель по лесосеке равномерного пользования существенно выше расчетной лесосеки (77 186 м³/год). При этом показатель площади спелых и перестойных насаждений, равный 25,0 %, не будет достигнут в течение оборота рубки, т. е. отсутствуют причины для снижения принятой нормы пользования в течение оборота рубки.

Примерно такая же ситуация сложилась и по осиновой хозсекции, где в случае полного освоения лесосечного фонда (4 606 м³/год) период лесопользования превысит оборот рубки. Об этом же свидетельствует и величина равномерного пользования, которая существенно выше расчетной лесосеки (25 533 м³/год). Однако необходимо учитывать, что достижение уровня требуемой доли площади спелых и перестойных насаждений (в данном случае 28,6 %) произойдет на 7-й год, а потом начнет увеличиваться, т. е. следует сохранить принятую норму пользования в течение действия проекта освоения лесов, но в перспективе расчетную лесосеку потребуется увеличить.

Заключение

Таким образом, принятая расчетная лесосека на лесном участке обеспечивает необходимый уровень неистощительности в течение оборота рубки в пихтовой, березовой и осиновой хозсекциях. Рекомендуется оставить ее для данных хозсекций на запланированном уровне на период действия проекта освоения лесов с последующим пересмотром в сторону увеличения нормы пользования по мягколиственному хозяйству. Несмотря на то, что по еловой высокобонитетной хозсекции период лесопользования меньше оборота рубки, для выравнивания возрастной структуры следует также сохранить принятую расчетную лесосеку. В крайне истощенной сосновой высокобонитетной хозсекции нужно принять за основу лесосеку равномерного пользования или временно отказаться от лесопользования. Оценивая неистощительность, необходимо учитывать ретроспективно долю освоения расчетной лесосеки в разрезе хозяйств и хозсекций. Например, в нашем случае в 2015 г. использование лесов по мягколиственному хозяйству не велось, по хвойному хозяйству расчетная лесосека освоена полностью. В прошлые годы лесной участок осваивался примерно таким же образом. Это также указывает на возможное увеличение лесопользования в мягколиственном хозяйстве.

Проведенное исследование показало, что в практике проектирования освоения лесов существует тенденция завышения размера лесопользования как общего, так и по наиболее ценным хозсекциям. В первом заинтересованы субъекты Российской Федерации (увеличение арендной платы), во втором – арендаторы лесных участков (повышение заготовки экономически рентабельного сырья). При этом отсутствие разделения величины расчетной лесосеки в проектах освоения лесов по хозсекциям приводит к вырубке наиболее ценных хозсекций (в нашем случае сосновой высокобонитетной).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голубев В.Е., Зародов А.Ю., Коросов А.В., Марковский А.В., Родионов А.В. Новый подход к исчислению расчетной лесосеки // Устойчивое лесопользование. 2014. № 3. С. 5–12.
2. Голубев В.Е., Зародов А.Ю., Коросов А.В., Марковский А.В., Родионов А.В. Возраст рубки и объем неистощительного пользования лесом // Леспроминформ. 2014. № 8. С. 48–53.
3. Кобяков К.Н. Непрерывное неистощительное пользование лесом или расчетная лесосека? // Устойчивое лесопользование. 2014. № 3(40). С. 13–20.
4. Коросов А.В., Родионов А.В., Голубев В.Е., Зародов А.Ю., Марковский А.В. О разработке нового подхода для исчисления параметров расчетной лесосеки неистощительного пользования // Принципы экологии: электр. журн. 2014. № 2. С. 4–20.

5. Лесоустроительная инструкция: утв. приказом Рослесхоза от 12.12.2011 № 516. Режим доступа: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208> (дата обращения 01.11.2016).
6. Порядок исчисления расчетной лесосеки: утв. приказом Рослесхоза от 27.05.2011 № 191. Режим доступа: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/185> (дата обращения 01.11.2016).
7. Российский национальный стандарт FSC 7-0. Режим доступа: https://ru.fsc.org/ru-ru/for_zs/ns (дата обращения: 01.11.2016).
8. Соколов В.А. Основы организации устойчивого лесопользования // Сиб. лесн. журн. 2014. № 1. С. 14–24.
9. Чупров Н.П., Торхов С.В. К методике определения размера главного пользования лесом // Лесн. журн. 2001. № 2. С. 7–14. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. Alves R.R., Goncalves Jacovine L.A., da Silva M.L. Forest Plantations and the Protection of Native Forests in Certified Management Units in Brazil // Revista Arvore. 2011. Vol. 35, iss. 4. Pp. 859–866.
11. Chen J., Tikina A., Kozak R., Innes J., Duinker P., Larson B. The Efficacy of Forest Certification: Perceptions of Canadian Forest Products Retailers // Forestry Chronicle. 2011. Vol. 87, no. 05. Pp. 636–643.
12. Elbakidze M., Angelstam P., Andersson K., Nordberg M., Pautov Yu. How Does Forest Certification Contribute to Boreal Biodiversity Conservation? Standards and Outcomes in Sweden and NW Russia // Forest Ecology and Management. 2011. Vol. 262, iss. 11. Pp. 1983–1995.
13. Elbakidze M., Razauskaite R., Manton M., Angelstam P., Mozgeris G., Brumelis G., Brazaitis G., Vogt P. The Role of Forest Certification for Biodiversity Conservation: Lithuania as a Case Study // European Journal of Forest Research. 2016. Vol. 135, iss. 2. Pp. 361–376.
14. Kalonga S.K., Midtgaard F., Eid T. Does Forest Certification Enhance Forest Structure? Empirical Evidence from Certified Community-Based Forest Management in Kilwa District, Tanzania // International Forestry Review. 2015. Vol. 17, no. 2. Pp. 182–194.
15. Lohmus A., Kraut A. Stand Structure of Hemiboreal Old-Growth Forests: Characteristic Features, Variation among Site Types, and a Comparison with FSC-Certified Mature Stands in Estonia // Forest Ecology and Management. 2010. Vol. 260, iss. 1. Pp. 155–165.
16. Merger E., Dutschke M., Verchot L. Options for REDD+ Voluntary Certification to Ensure Net GHG Benefits, Poverty Alleviation, Sustainable Management of Forests and Biodiversity Conservation // Forests. 2011. Vol. 2, iss. 2. Pp. 550–577.
17. Moore S.E., Cabbage F., Eicheldinger C. Impacts of Forest Stewardship Council (FSC) and Sustainable Forestry Initiative (SFI) Forest Certification in North America // Journal of Forestry. 2012. Vol. 110, iss. 2. Pp. 79–88.
18. Rotherham T. Forest Management Certification around the World – Progress and Problems // Forestry chronicle. 2011. Vol. 87, no. 05. Pp. 603–611.
19. Tysiachniouk M., McDermott C.L. Certification with Russian Characteristics: Implications for Social and Environmental Equity // Forest Policy and Economics. 2016. Vol. 62. Pp. 43–53.

Поступила 27.02.17

UDC 630* 611

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.23

Assessment of Sustainable Forestry within the FSC Voluntary Forest Certification Scheme

N.M. Debkov¹, Candidate of Agricultural Sciences, Research Officer

A.S. Il'intsev^{2,3}, Master, Research Officer

¹Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, pr. Akademicheskiiy, 10/3, Tomsk, 634055, Russian Federation; e-mail: nikitadebkov@yandex.ru

²Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: ilintsev666@yandex.ru

³Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: ilintsev666@yandex.ru

The paper considers the methodology for calculating the sustainability of forest management illustrated by the example of a timber industry enterprise in the Pervomayskiy district of the Tomsk region. The percentage of forest cover land is 94.8 %; the total area of forests leased for timber harvesting is 49 628 ha. The calculation is carried out as part of the preparation of a timber industry enterprise for preliminary and main forest management audit and internal supply chain under the Forest Stewardship Council national forest management standard. The goal of research is the development and approval of methodology for calculating the sustainability of forest management, which meets the requirements of the new forest management standard. The assessment of sustainability consists in a comparative analysis of the characteristic value of the annual wood harvesting in old growth forests, established by the requirements of the forest development project, with average values of increment and the size of annual allowable cut of the uniform use. The distribution by age groups of coniferous and soft-wooded broadleaf economic sections demonstrates the predominance of old growth forests in spruce high-bonitat and fir working circles. The pine high-bonitat economic section is extremely depleted due to logging of the previous period. Large areas of middle-aged birch and aspen forests prove the nature of the old-cultivated site. The accepted annual allowable cut in the forest plot provides the necessary sustainability level during the felling cycle in the fir, birch and aspen economic sections. We recommend the scheme for these working circles at the planned level during the forest development project, with a subsequent revision towards increasing the rate of use of soft-wooded broadleaf forests. In the forest exploitation design, we have found a tendency to overrate the total forest use and the most valuable working circles.

Keywords: annual allowable cut, sustainability, forest management unit, working circle, wood increment, forest certification, Forest Stewardship Council system.

For citation: Debkov N.M., Il'intsev A.S. Assessment of Sustainable Forestry within the FSC Voluntary Forest Certification Scheme. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 23–35. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.23

REFERENCES

1. Golubev V.E., Zarodov A.Yu., Korosov A.V., Markovskiy A.V., Rodionov A.V. Novyy podkhod k ischisleniyu raschetnoy lesoseki [A New Approach to the Calculation of Allowable Annual Cut]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable Forestry], 2014, no. 3, pp. 5–12.
2. Golubev V.E., Zarodov A.Yu., Korosov A.V., Markovskiy A.V., Rodionov A.V. Vozrast rubki i ob"em neistoshchitel'nogo pol'zovaniya lesom [Felling Age and Sustainable Forest Yield Scope]. *LesPromInform* [Russian Forestry Review], 2014, no. 8, pp. 48–53.
3. Kobyakov K.N. Nepreryvnoe neistoshchitel'noe pol'zovanie lesom ili raschetnaya lesoseka? [Sustainable Forest Exploitation vs. Allowable Annual Cut]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable Forestry], 2014, no. 3(40), pp. 13–20.
4. Korosov A.V., Rodionov A.V., Golubev V.E., Zarodov A.Yu., Markovskiy A.V. O razrabotke novogo podkhoda dlya ischisleniya parametrov raschetnoy lesoseki neistoshchitel'nogo pol'zovaniya [On the Development of a New Approach to Calculating Parameters of the Annual Allowable Cut for Sustainable Forest Management]. *Printsiipy ekologii* [Principles of the Ecology], 2014, no. 2, pp. 4–20.
5. *Lesoustroitel'naya instruktsiya: utv. prikazom Rosleskhoza ot 12.12.2011 № 516* [Forest Management Regulations: Approved by the Order of the Federal Forestry Agency No. 516 of 12 December 2011]. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/208> (accessed 01.11.2016).
6. *Poryadok ischisleniya raschetnoy lesoseki: utv. prikazom Rosleskhoza ot 27.05.2011 № 191* [The Procedure for Calculation Annual Allowable Cut: Approved by the Order of the Federal Forestry Agency No. 191 of 27 May 2011]. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/185> (accessed 01.11.2016).
7. *Rossiyskiy natsional'nyy standart FSC 7-0* [Russian National Standard FSC 7-0]. Available at: https://ru.fsc.org/ru-ru/for_zs/ns (accessed 16.11.2016).
8. Sokolov V.A. Osnovy organizatsii ustoychivogo lesopol'zovaniya [Fundamentals for Organization of Sustainable Forest Use]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2014, no. 1, pp. 14–24.
9. Chuprov N.P., Torkhov S.V. K metodike opredeleniya razmera glavnogo pol'zovaniya lesom [On the Technique of Determining the Final Cutting Size]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2001, vol. 35, no. 2, pp. 7–14.
10. Alves R.R., Goncalves Jacovine L.A., da Silva M.L. Forest Plantations and the Protection of Native Forests in Certified Management Units in Brazil. *Revista Arvore*, 2011, vol. 35, iss. 4, pp. 859–866.
11. Chen J., Tikina A., Kozak R., Innes J., Duinker P., Larson B. The Efficacy of Forest Certification: Perceptions of Canadian Forest Products Retailers. *Forestry Chronicle*, 2011, vol. 87, no. 05, pp. 636–643.
12. Elbakidze M., Angelstam P., Andersson K., Nordberg M., Pautov Yu. How Does Forest Certification Contribute to Boreal Biodiversity Conservation? Standards and Outcomes in Sweden and NW Russia. *Forest Ecology and Management*, 2011, vol. 262, iss. 11, pp. 1983–1995.

13. Elbakidze M., Razauskaite R., Manton M., Angelstam P., Mozgeris G., Brumelis G., Brazaitis G., Vogt P. The Role of Forest Certification for Biodiversity Conservation: Lithuania as a Case Study. *European Journal of Forest Research*, 2016, vol. 135, iss. 2, pp. 361–376.

14. Kalonga S.K., Midtgaard F., Eid T. Does Forest Certification Enhance Forest Structure? Empirical Evidence from Certified Community-Based Forest Management in Kilwa District, Tanzania. *International Forestry Review*, 2015, vol. 17, no. 2, pp. 182–194.

15. Lohmus A., Kraut A. Stand Structure of Hemiboreal Old-Growth Forests: Characteristic Features, Variation among Site Types, and a Comparison with FSC-Certified Mature Stands in Estonia. *Forest Ecology and Management*, 2010, vol. 260, iss. 1, pp. 155–165.

16. Merger E., Dutschke M., Verchot L. Options for REDD+ Voluntary Certification to Ensure Net GHG Benefits, Poverty Alleviation, Sustainable Management of Forests and Biodiversity Conservation. *Forests*, 2011, vol. 2, iss. 2, pp. 550–577.

17. Moore S.E., Cabbage F., Eicheldinger C. Impacts of Forest Stewardship Council (FSC) and Sustainable Forestry Initiative (SFI) Forest Certification in North America. *Journal of Forestry*, 2012, vol. 110, iss. 2, pp. 79–88.

18. Rotherham T. Forest Management Certification around the World – Progress and Problems. *Forestry chronicle*, 2011, vol. 87, no. 05, pp. 603–611.

19. Tysiachniouk M., McDermott C.L. Certification with Russian Characteristics: Implications for Social and Environmental Equity. *Forest Policy and Economics*, 2016, vol. 62, pp. 43–53.

Received on February 27, 2017

УДК 630*385.1:630*228.7

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.36

ФОРМИРОВАНИЕ СОСНОВО-БЕРЕЗОВЫХ МОЛОДНЯКОВ НА ОСУШАЕМЫХ ПЕРЕХОДНЫХ БОЛОТАХ ЮЖНОЙ КАРЕЛИИ*

О.И. Гаврилова¹, д-р с.-х. наук, проф.

В.Н. Гаврилов², канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.

¹Петрозаводский государственный университет, пр. Ленина, д. 33, г. Петрозаводск, Россия, 185910; e-mail: ogavril@mail.ru

²Институт леса КарНЦ РАН, ул. Пушкинская, д. 1, г. Петрозаводск, Россия, 185035; e-mail: victor.gavrilov@karelia.ru

В работе приведены данные по росту сосновых молодняков искусственного происхождения, созданных по осушаемому переходному болоту в условиях среднетаежной подзоны. Представлены материалы 20-летних исследований на базе опытных участков Института леса Карельского научного центра Российской академии наук. Культуры созданы в 1972 г. на территории Киндасовского участкового лесничества Пряжинского центрального лесничества (Республика Карелия) по болоту, осушенному за 3 года до посадки. Использованы 2-летние стандартные сеянцы сосны обыкновенной, выращенные в открытом грунте. Шаг посадки 0,6 м при общей первоначальной густоте культур 4,0...4,5 тыс. шт./га. К возрасту 20 лет сформировался сосново-березовый древостой. В возрасте от 20 до 40 лет проводились исследования культуры по стандартным методам, принятым в таксации. Выращивание сосновых культур на осушаемых бедных переходных болотах оказалось высокоэффективным мероприятием с лесохозяйственной точки зрения. На участках лесных культур сформировались высокополнотные молодняки продуктивностью не ниже третьего класса бонитета. Сохранность культур высокая. В возрасте 20–25 лет этот показатель составлял от 65 до 75 %. В дальнейшем с увеличением высоты культур отпад усилился, и к 40 годам сохранность снизилась до 35...45 %. При первоначальной густоте посадки 4,0...4,5 тыс. шт./га на площади остается достаточное число стволов для образования в будущем полноценного древостоя. По категориям крупности в возрасте 40 лет деревья отнесены к группам мелких (56...78 %) и средних (22...45 %). Таким образом, сформировавшийся на участке лесных культур древостой характеризуется не только высокой продуктивностью, но и хорошим качеством.

Ключевые слова: среднетаежная подзона, осушаемое болото, культуры сосны обыкновенной, рост, сохранность древостоя, качество культур.

Введение

Работы по осушению в лесном фонде в конце прошлого столетия фактически прекратились, однако в условиях северо-западной тайги альтернативы

* Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ-0220-2014-0011.

Для цитирования: Гаврилова О.И., Гаврилов В.Н. Формирование сосново-березовых молодняков на осушаемых переходных болотах Южной Карелии // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 36–45. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.36

данному мероприятию, которое способно в относительно короткие сроки повысить продуктивность древостоев и увеличить относительную лесистость территории, нет.

Вопросам изучения особенностей формирования и роста молодняков ценных древесных пород на осушенных болотах уделялось большое внимание в различных регионах [1, 2, 4, 5, 7]. Несмотря на накопленный опыт в этом направлении проблема остается достаточно важной и на сегодняшний день. В полной мере это касается и молодняков, сформировавшихся при искусственном облесении осушаемых площадей в процессе планирования мероприятий по ведению хозяйства.

В статье представлены материалы 20-летних исследований особенностей роста смешанного сосново-березового насаждения, образовавшегося после создания в 1972 г. культур сосны (2-летние сеянцы, шаг посадки в открытый грунт – 0,6 м при общей первоначальной густоте посадки – 4,0...4,5 тыс. шт./га) в условиях осушаемых бедных переходных осоково-кустарничково-сфагновых болот. Исследования проведены в среднетаежной подзоне на территории Киндасовского участкового лесничества Пряжинского центрального лесничества (Южная Карелия).

Объекты и методы исследования

Опытный участок заложен в 1991 г. через 20 лет после мелиорации в пределах довольно крупного закультивированного болотного массива (площадь – 17 га), пройденного осушением открытым способом в 1970 г. Расстояние между осушителями – 160 м, глубина – 0,9 м. Течение воды нормальное, зарастание травянистой и древесной растительностью сильное.

Несмотря на значительное удаление участка от ближайшего облесенного суходола к концу первого класса возраста сосновых культур образовался сложный по составу и возрастной структуре молодой сосново-березовый древостой. Причина тому – наличие на площади древесной растительности сосны и березы 2–4-го классов возраста (произраставшей до осушения) в количестве 0,1 тыс. экз./га и подроста этих пород до 0,5...1,0 тыс. экз./га. Болото бедное переходное осоково-кустарничково-сфагновое. Торфяная залежь переходного типа, исключение составляет самый верхний 10-сантиметровый слой; мощность торфа – 1,0...1,2 м. На момент закладки пробных площадей (1991 г.) определено следующее: до глубины 0,4 м располагается горизонт небогатого осоково-сфагнового торфа со степенью разложения 15...20 %, зольностью 3,2 % и обменной кислотностью (рН в ед. КСl) 3,4; глубже – древесно-осоковый горизонт с показателями 35 %, 4,1...4,5 % и 3,8 соответственно. Повторный отбор и обработка образцов через 15 лет (2006 г.) показали, что свойства торфяной залежи практически не изменились. В живом напочвенном покрове доминируют болотные кустарнички, карликовая береза, пушица влагалищная, клюква и сфагновые мхи (в основном *Sphagnum angustifolium*). Общее покрытие живого напочвенного покрова: травяно-кустарничковый – 50...55 %, моховой – 95...100 %.

Посадки 2-летних сеянцев сосны обыкновенной проведены в 1972 г. в пласты, сформированные вдоль борозд, проложенных параллельно осушителям. Первоначальная глубина борозд – 0,5...0,6 м, однако во время закладки пробных площадей (через 20 лет после создания культур) их глубина не превышала 20 см вследствие зарастания травянистой и, главным образом, моховой растительностью. Расстояния между бороздами значительно варьируют, что повлияло на колебание первоначальной густоты посадок в пределах межканальной полосы (3,9...4,5 тыс. экз./га), по материалам лесничества – 4,35 тыс. экз./га. Шаг посадки – 0,6...0,7 м.

Для изучения особенностей формирования и роста молодняков на участке заложено две пробные площади: участок 1 – на расстоянии 5...30 м от осушителя (площадь – 0,12 га); участок 2 – на расстоянии 50...80 м (0,19 га).

В исследованиях использованы общепринятые методы лесной таксации. Измерения в древостоях на постоянных пробных площадях проводили путем сплошного перечета как по 2-сантиметровым ступеням толщины, так и с измерением диаметров с точностью до 0,1 см. В последнем случае при камеральной обработке измеренные диаметры группировали по 2-сантиметровым ступеням толщины. Средние высоты определяли по графикам высот. При обработке данных использовали местные лесотаксационные таблицы [3]. При оценке качества древостоев в случае невозможности применения обычных товарных таблиц из-за малых размеров деревьев при выборе категорий крупности использовали ранговые коэффициенты распределения по диаметрам: менее $0,8d_{\text{ср}}$ – отставшие в росте; $1,2d_{\text{ср}}$ и более – лидеры ($d_{\text{ср}}$ – средний диаметр). При перечете отдельно учитывали деловые, полуделовые и дровяные деревья и сухостой [6]. Обработку данных натуральных измерений производили с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследования и их обсуждение

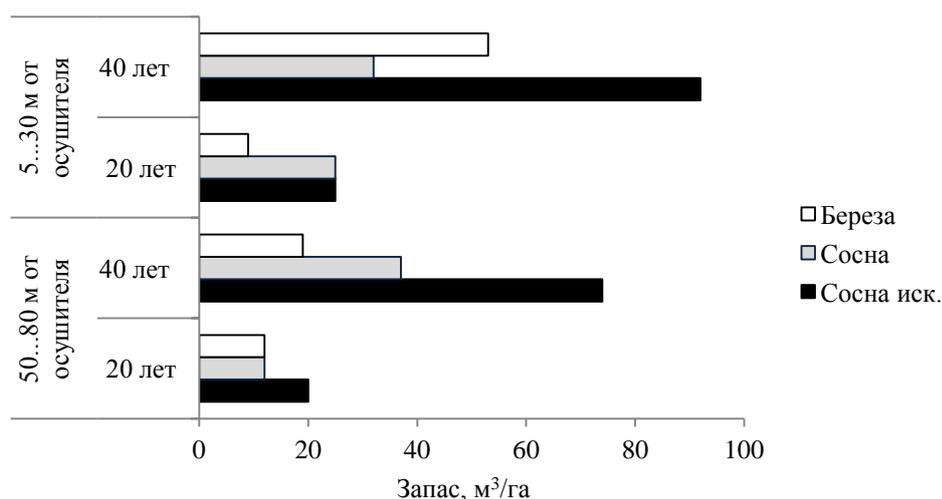
Результаты многолетних исследований по изучению особенностей формирования и роста молодняков при создании лесных культур на осушаемых осоково-кустарничково-сфагновых болотах Карелии показывают, что при соблюдении агротехники создания и выращивания сосновых культур образуются, как видно из данных табл. 1 и рисунка, смешанные древостои с преобладанием хвойных.

Продуктивность молодняков по главной породе довольно высокая – II-III классы бонитета. Однако данные табл. 1 и рисунка свидетельствуют, что с увеличением давности осушения различия в темпах роста культур на разном удалении от осушителя при параллельном расположении лесокультурных борозд повышаются, достигая практически класса бонитета. Борозды, образованные при обработке почвы, почти полностью зарастают травяной и моховой растительностью и теряют свои дренажные функции, ухудшая тем самым гидрологический режим почвы на удалении от осушителя 40 м и более.

Таблица 1

**Показатели роста сосново-березовых молодняков
на осушаемом осоково-кустарничково-сфагновом болоте
(участок лесных культур)**

Состав по запасу	Возраст, лет	Густота, экз./га	Средние		Абсолютная полнота, м ² /га	Запас, м ³ /га	Относительная полнота	Бонитет
			диаметр, см	высота, м				
<i>Участок 1 (5...30 м от осушителя; 20 лет после осушения)</i>								
4,2С _{иск}	20	3 190	5,1	5,5	6,57	25	0,3	III,0
1,6С	15...35	650	6,4	5,6	2,10	9		
4,2Б	15...35	9 950	3,1	3,9	7,27	25		
<i>Итого</i>		13 790			15,94	59	1,0	
<i>Участок 1 (5...30 м от осушителя; 40 лет после осушения)</i>								
5,2С _{иск}	40	1 420	11,0	13,2	13,63	92	0,5	II,1
1,8С		280	14,5	13,3	4,68	32		
3,0Б		1 980	7,5	9,2	8,76	53		
<i>Итого</i>		3 680			27,07	177	1,2	
<i>Участок 2 (50...80 м от осушителя; 20 лет после осушения)</i>								
4,5С _{иск}	20	2 663	5,1	5,4	5,52	20	0,3	III,0
2,8С	15...35	990	5,4	5,3	2,94	12		
2,7Б	15...35	6 568	2,3	3,5	4,00	12		
<i>Итого</i>		10 221			12,46	44	0,8	
<i>Участок 2 (50...80 м от осушителя; 40 лет после осушения)</i>								
5,7С _{иск}	40	1 621	9,7	11,4	12,01	74	0,5	II,9
2,8С		400	13,4	12,4	5,66	37		
1,5Б		1 253	6,3	7,4	3,96	19		
<i>Итого</i>		3 274			21,63	130	1,0	



Запас сосново-березовых насаждений через 20 и 40 лет после осушения на разном расстоянии от осушителей

Обращает на себя внимание большое количество березы в сосново-березовом древостое к концу первого класса возраста культур. В основном (90 %) это береза, появившаяся после осушения. В дальнейшем, вследствие увеличения высоты культур и снижения освещенности, количество особей данного элемента леса резко сокращается. Доля лиственных в составе по запасу уменьшается с 30...40 до 15...30 % на разном удалении от канала.

Многочисленные повторные измерения на постоянных пробных площадях в смешанном сосново-березовом молодняке позволили проследить ход изменений основных таксационных показателей, характеризующих рост составляющих пород в период возраста культур 20...40 лет. Установлено, что эти изменения, являющиеся функцией возраста, с высокой степенью достоверности описываются логарифмической зависимостью. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,958...0,984$. Исключение – изменение числа стволов березы (0,80...0,85), что объясняется неравномерностью снижения густоты в разные годы. На основе обработки данных для условий осушаемых земель рассчитаны значения основных средних показателей роста по пятилетиям (табл. 2).

Таблица 2

Изменение основных таксационных показателей составляющих пород по пятилетиям в смешанном сосново-березовом древостое на осушаемом осоково-кустарничково-сфагновом болоте (участок культур сосны второго класса возраста)

Состав по запасу	Возраст, лет	Густота, тыс. экз./га	Средние		Абсолютная полнота, м ² /га	Запас, м ³ /га	Годовое накопление запаса, м ³ /га	
			диаметр, см	высота, м			среднее	текущее
<i>Участок I (5...30 м от осушителя; класс бонитета II, I в возрасте культур 40 лет)</i>								
3,6С _{иск}	20	3,06	4,8	5,1	6,03	17,7	0,9	–
1,4С	15...35	0,62	6,2	5,2	2,03	6,7	0,3	–
5,0Б	15...35	7,72	3,6	5,9	7,07	25,3	1,0	–
<i>Итого</i>		11,40			15,13	49,7		
3,6С _{иск}	25	2,48	6,8	7,6	8,47	40,6	1,6	4,6
1,4С		0,52	8,7	7,6	2,85	14,0	0,4	1,5
5,0Б		5,49	4,9	6,9	7,66	33,8	1,1	1,7
<i>Итого</i>		8,49			18,98	88,4		
4,9С _{иск}	30	3,06	8,4	9,6	10,47	59,4	2,0	3,8
1,7С		0,42	10,9	9,6	3,55	20,3	0,5	1,3
3,4Б		3,61	6,1	7,8	8,15	41,0	1,2	1,4
<i>Итого</i>		7,09			22,17	120,7		
5,1С _{иск}	35	1,60	9,8	11,4	12,16	75,3	2,2	3,2
1,7С		0,34	12,8	11,5	4,18	25,9	0,6	1,1
3,2Б		1,98	7,1	8,6	8,58	47,3	1,2	1,3
<i>Итого</i>		3,92			24,92	148,5		
5,1С _{иск}	40	1,26	11,0	12,9	13,62	89,0	2,2	2,7
1,8С		0,26	14,5	13,1	4,74	30,9	0,6	1,0
3,1Б		0,55	8,0	9,3	8,96	52,8	1,2	1,1
<i>Итого</i>		2,07			27,32	171,7		

Окончание табл. 2

Состав по запасу	Возраст, лет	Густота, тыс. экз./га	Средние		Абсолютная полнота, м ² /га	Запас, м ³ /га	Годовое накопление запаса, м ³ /га	
			диаметр, см	высота, м			среднее	текущее
<i>Участок 2 (50...80 м от осушителя; класс бонитета II,9 в возрасте культур 40 лет)</i>								
4,4С _{иск}	20	2,64	4,7	5,0	4,57	17,5	0,9	–
2,5С		0,94	6,1	5,1	2,76	9,9	0,3	–
3,1Б		4,78	3,3	5,3	3,43	12,6	0,5	–
<i>Итого</i>		8,36			10,76	40,0		
4,7С _{иск}	25	2,28	6,2	7,0	6,87	27,9	1,1	2,1
3,0С		0,76	8,2	7,3	3,64	17,6	0,5	1,5
2,3Б		3,42	4,6	6,0	3,61	14,1	0,5	0,3
<i>Итого</i>		6,82			14,12	59,6		
5,1С _{иск}	30	1,98	7,5	8,6	8,56	40,8	1,4	2,6
3,0С		0,60	9,9	9,2	4,39	24,5	0,6	1,4
1,9Б		2,26	5,6	6,6	3,77	15,4	0,5	0,3
<i>Итого</i>		4,84			16,72	80,7		
5,5С _{иск}	35	1,73	8,6	10,0	10,35	56,3	1,6	3,1
2,9С		0,46	11,5	10,8	5,06	30,1	0,7	1,1
1,6Б		1,26	6,6	7,1	3,90	16,6	0,4	0,2
<i>Итого</i>		3,45			19,31	103,0		
5,5С _{иск}	40	1,51	9,6	11,2	11,73	74,5	1,9	3,6
2,9С		0,36	12,9	12,3	5,66	35,4	0,7	1,1
1,6Б		1,20	7,4	7,6	4,02	17,6	0,4	0,2
<i>Итого</i>		3,07			21,41	127,5		

Как видно из табл. 2, отпад идет не только в лиственной части сосново-березового древостоя, но и в лесных культурах. Естественное изреживание, обусловленное разницей в темпах роста различных пород, начинается в посадках с раннего возраста. Однако, как показывают полученные результаты, в течение первого класса возраста оно идет медленными темпами. Сохранность 20-летних культур составляла 75 %. К 40 годам этот показатель снижался до 35 %, т. е. активизация естественного изреживания наступает в третьем десятилетии с увеличением сомкнутости и полноты древостоя.

Как отмечалось выше, на участках лесных культур сосны продуктивность молодняков в условиях осушаемых бедных переходных болот Южной Карелии высокая (табл. 3).

Ежегодное текущее среднепериодическое накопление запаса за весь период наблюдений (20 лет) колеблется от 4,3 до 7,9 м³/га. В хвойно-березовом древостое на собственно лесные культуры приходится около половины. В последние 3 года темпы накопления запаса несколько увеличились. На всех пробных площадях текущее накопление запаса к возрасту культур 40 лет выше среднего.

Таблица 3

**Годовое накопление ($\text{м}^3/\text{га}$) запаса стволовой древесины
на участках лесных культур (возраст культур – 40 лет)**

Годовое накопление запаса	Участок 1 (5...30 м от осушителя)		Участок 2 (50...80 м от осушителя)	
	за последние 20 лет	за 7 лет	за последние 20 лет	за 7 лет
Среднее	4,4	–	3,3	–
Текущее среднепериодическое	5,9	8,1	4,3	6,3
В том числе в культурах	3,4	4,1	2,7	3,4

Исследуя качество формирующегося древостоя, следует различать деловые, полуделовые деревья и дрова. Оценку производили на основе наличия повреждений стволов, развития ассимиляционного аппарата. К деловым относили особи, не имеющие видимых повреждений стволов, прямостоящие, с хорошо развитой кроной, очищением от сучьев, наличием апикального прироста. Деревья, имеющие повреждения (сильный изгиб ствола, наличие пасынков, двувершинность, поражение раком серянкой), отнесены к полуделовым, сильно угнетенные, отстающие в росте и сухостойные – к дровяным. Основными причинами снижения жизненного состояния являются, скорее всего, конкурентные отношения, единичные случаи грибных заболеваний. При учетах к категории «деловые» было отнесено 93...95 % от общего числа растущих деревьев, что свидетельствует о хорошем жизненном состоянии культур. По требованиям технических условий к первому классу товарности относят древостои, в которых доля деловых стволов составляет 91 % и выше. Безусловно, полученные результаты нужно рассматривать как прогноз, до достижения возраста главной рубки ситуация может измениться. По накоплению запаса на деловую часть древостоев приходится 95...98 %.

Дифференциация деревьев в культурах сосны по темпам роста проявляется уже в раннем возрасте. Это дает возможность подразделять деревья на категории: лидирующие, средние и отстающие. Основу будущего древостоя составляют особи из первых двух категорий.

По мнению Е.Л. Маслакова [6], деревья, составившие группу «лидеров» в первые годы роста, не теряют своего преимущества и в дальнейшем. Кроме того, результаты такого деления применимы при организации рубок ухода в молодняках. В связи с этим произведены расчеты по группам роста для 40-летних сосновых молодняков, произрастающих на осушаемых болотах. При этом в основу положены значения средних диаметров, которые были измерены с точностью до $\pm 0,1$ см, с применением ранговых коэффициентов распределения по диаметрам: менее $0,8d_{\text{ср}}$ – отстающие в росте; $1,2d_{\text{ср}}$ и более – лидеры.

В табл. 4 показано, что в смешанных сосново-березовых древостоях, где не проводились ухода, соотношение групп деревьев по темпам роста отличается незначительно в приканальной зоне и на середине 160-метровой межканальной

полосы. При этом доли крайних интервалов имеют по числу стволов почти равные значения: отстающие – 33...32 %; лидеры – 27...26 %. Это свидетельствует о приближении распределения деревьев по диаметру к нормальному.

Таблица 4

Доля по числу стволов (числитель) и запасу (знаменатель) различных категорий деревьев по темпам роста в 40-летних культурах сосны на осоково-кустарничково-сфагновых болотах Южной Карелии

Пробная площадь	Средний диаметр, см	Доля, %		
		отставших ($0,8d_{cp}$ и менее)	средних ($0,8...1,2d_{cp}$)	лидеров ($1,2d_{cp}$ и более)
Участок 1	10,7	33/13	40/36	27/51
Участок 2	9,3	32/10	42/36	26/54

По теории нормального распределения в пределах стандартного отклонения в ту и другую сторону от среднего значения расположено 68,3 % всех единиц совокупности. На пробных площадях в смешанном молодняке число деревьев в приканальной зоне составляет 59 %, на середине полосы – 67 %.

Если по числу стволов, как показано в табл. 4, в процентном отношении у лидеров и отставших в росте отличие не значительно, то доля запаса от общего по культурам закономерно выше в группе лидеров. В смешанном сосняке это чуть более 50 %. К возрасту главной рубки класс товарности в выращиваемых древостоях может быть высоким.

Заключение

Выращивание сосновых культур на осушаемых бедных переходных болотах оказалось высокоэффективным мероприятием с лесохозяйственной точки зрения. На участках лесных культур сформировались высокополнотные смешанные с березой (при преобладании сосны) молодняки продуктивностью не ниже третьего класса бонитета с запасом стволовой древесины к концу второго класса возраста $180...190 \text{ м}^3/\text{га}$ – в 30-метровой приканальной зоне, $60...80 \text{ м}^3/\text{га}$ – на удалении от канала. Сохранность культур в возрасте 20...25 лет составляет 60...75 %. В дальнейшем с увеличением высоты культур отпад усиливается, к 40 годам сохранность снижается до 35...45 %. При первоначальной густоте посадки 4,0 тыс. шт./га и более остается достаточное число стволов для образования в будущем полноценного древостоя. При этом основу составят деревья-лидеры ($1,2d_{cp}$ и более), которые к 40 годам продуцируют около 50 % запаса стволовой древесины.

Неоднократные периодические измерения на постоянных пробных площадях в течение 20 лет в смешанном сосново-березовом древостое позволили проследить изменение основных показателей роста по пятилетиям во втором классе возраста. Установлено, что эти изменения с высокой степенью достоверности описываются логарифмической зависимостью. Достоверность аппроксимации $R^2 = 0,958...0,984$. На основе этих результатов рассчитаны значения средних показателей роста в культурах по элементам леса по пятилетиям для условий осушаемого осоково-кустарничково-сфагнового болота.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов В.Н. Зональные особенности растительных ресурсов осушенных болот Карелии при их искусственном облесении // Учен. зап. Петрозав. гос. ун-та. 2009. № 11(105). С. 35–40.
2. Исаченко Г.А. Многолетние последствия осушения болот в ландшафтах Северо-Запада Европейской России // Болота Северной Европы: разнообразие, динамика и рациональное использование: материалы конф., Петрозаводск, 2–5 сент. 2015 г. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 37–38.
3. Казимиров Н.И., Кабанов В.В. Лесотаксационные таблицы. Петрозаводск, КарНЦ РАН, 1976. 33 с.
4. Константинов В.К., Выродова С.А., Фролов Ю.А., Корольчук В.Ф., Стекольщиков С.А. О лесоводственной эффективности осушения и лесокультурного освоения болот и их окраек // Лесное хозяйство и комплексное природопользование: материалы Всеросс. симп. с междунар. участием: тр. СПбНИИЛХ. Вып. 2(22). СПб., 2010. С. 133–138.
5. Константинов В.К., Порошин А.А. Состояние гидромелиоративных систем и их реконструкция. СПб.: СПбНИИЛХ, 2007. 135 с.
6. Маслаков Е.Л. Формирование сосновых молодняков. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 164 с.
7. Тараканов А.М. Эффективность гидролесомелиорации, основные условия и требования к ведению лесного хозяйства на осушаемых землях // Проблемы использования лесов с избыточным увлажнением и пути повышения их продуктивности: материалы междунар. семинара. Архангельск: Правда Севера, 2013. С. 14–24.

Поступила 29.04.16

UDC 630*385.1:630*228.7

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.36

Formation of Pine and Birch Young Forests on Drained Transitional Mires of South Karelia

O.I. Gavrilova¹, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.N. Gavrilov², Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Officer

¹Petrozavodsk State University, pr. Lenina, 33, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: ogavril@mail.ru

²Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 1, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: victor.gavrilov@karelia.ru

The paper presents data on the growth of artificial pine young forests created on the drained transitional mire in the middle taiga subzone. The authors provide the study materials of 20-year research on the basis of experimental sites of the Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences. Cultures were established in 1972 on the territory of the Kindazovsky district forestry of the Pryazhinsky central forestry (the Republic of Karelia) in a mire drained 3 years before planting. Two-year-old standard seedlings of Scots pine

For citation: Gavrilova O.I., Gavrilov V.N. Formation of Pine and Birch Young Forests on Drained Transitional Mires of South Karelia. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 36–45. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.36

grown in the open ground were used. The plant spacing was 0.6 m with a total initial density of crops of 4.0...4.5 ths pcs/ha. A pine and birch stand was formed by the age of 20 years. At the age of 20 to 40 years, cultures were studied according to the standard methods adopted in the taxation. Cultivation of pine cultures on drained poor transitional mires had proved to be a highly effective measure in the context of forestry. High-density young growths with productivity at least equal to the third yield class were formed on the forest cultures sites. The conservation of cultures was high. At the age of 20–25 years, this indicator was from 65 to 75 %. In the future, as the height of crops increased, the attrition of seedlings intensified, and by the age of 40, the conservation declined to 35...45 %. At the initial density of planting 4.0...4.5 ths pcs/ha there was a sufficient number of stems on the area to form a full-fledged stand in the future. According to the size categories at the age of 40, the trees were classified as small (56...78 %) and medium (22...45 %). Thus, the tree stand formed on the forest plantation site can be characterized not only by high productivity, but also by good quality.

Keywords: middle taiga subzone, drained mire, Scots pine, growth, conservation of plantations, stand quality.

REFERENCES

1. Gavrilov V.N. Zonal'nye osobennosti rastitel'nykh resursov osushennykh bolot Karelii pri ikh iskusstvennom oblesenii [Zonal Features of Plant Resources of Karelian Drained Mires at Their Artificial Afforestation]. *Uchenye zapiski Petrozavodskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Proceedings of Petrozavodsk State University. Ser.: Natural and Engineering Sciences], 2009, no. 11(105), pp. 35–40.
2. Isachenko G.A. Mnogoletnie posledstviya osusheniya bolot v landshaftakh Severo-Zapada Evropeyskoy Rossii [Long-Term Consequences of Draining of Mires in the Landscapes of the North-West of European Russia]. *Bolota Severnoy Evropy: raznoobrazie, dinamika i ratsional'noe ispol'zovanie (Petrozavodsk, 2–5 sentyabrya 2015)* [Mires of Northern Europe: Diversity, Dynamics and Rational Use (Petrozavodsk, September 2–5, 2015)]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS Publ., 2015, pp. 37–38. (In Russ.)
3. Kazimirov N.I., Kabanov V.V. *Lesotaksatsionnye tablitsy* [Forest Mensuration Tables]. Petrozavodsk, Karelian Research Centre of RAS Publ., 1976. 33 p. (In Russ.)
4. Konstantinov V.K., Vyrodova S.A., Frolov Yu.A., Korol'chuk V.F., Stekol'shchikov S.A. O lesovodstvennoy effektivnosti osusheniya i lesokul'turnogo osvoeniya bolot i ikh okraek [On the Silvicultural Efficiency of Drainage and Forestry Cultivation of Mires and Their Edges]. *Lesnoe khozyaystvo i kompleksnoe prirodopol'zovanie: tr. SPbNILKh. Vyp. 2(22)* [Forestry and Complex Nature Management: Proc. SPbFRI, Iss. 2(22)]. Saint Petersburg, 2010, pp. 133–138. (In Russ.)
5. Konstantinov V.K., Poroshin A.A. *Sostoyanie gidromeliorativnykh sistem i ikh rekonstruktsiya* [The State of Hydromeliorative Systems and Their Reconstruction]. Saint Petersburg, SPbFRI Publ., 2007. 135 p. (In Russ.)
6. Maslakov E.L. *Formirovaniye osnovnykh molodnyakov* [Formation of Pine Young Growth]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 164 p. (In Russ.)
7. Tarakanov A.M. Effektivnost' gidrolesomelioratsii, osnovnye usloviya i trebovaniya k vedeniyu lesnogo khozyaystva na osushaemykh zemlyakh [Efficiency of Hydro-Forestry, Basic Conditions and Requirements for Forest Management on Drained Lands]. *Problemy ispol'zovaniya lesov s izbytochnym uvlazhneniem i puti povysheniya ikh produktivnosti: materialy mezhdunar. seminara* [Problems of Using of Overmoistened Forests and the Ways to Increase Their Productivity: Proc. Inter. Research Workshop]. Arkhangelsk, Pravda Severa Publ., 2013, pp. 14–24. (In Russ.)

Received on April 29, 2016

УДК 630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.46

ДИНАМИКА СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНОСТИ НИЖНИХ ЯРУСОВ В ПАРКОВЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ

А.В. Грязькин¹, д-р биол. наук, проф.

А.А. Кочкин¹, асп.

В.В. Петрик², д-р с.-х. наук, проф.

¹Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: lesovod@bk.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: v.petrik@narfu.ru

Приведены результаты сравнительного анализа видового состава живого напочвенного покрова, подлеска и подроста в крупнейшем парке Санкт-Петербурга «Сосновка» за длительный период наблюдений. Большая часть парка представлена фитоценозами естественного происхождения, где и были выбраны объекты исследования, располагавшиеся на разном удалении от основных прогулочных маршрутов. Древоустой на всех объектах представлен сосной с небольшой примесью березы. Тип леса – сосняк долгомошник, пятого класса бонитета; запас древоустоя – 60..80 м³/га. Учет растительности нижних ярусов произведен комплексно на круговых учетных площадках площадью 10 м². На каждом объекте было заложено по 30 площадок, на которых одновременно учитывались видовой состав, структура по высоте, количество и состояние подроста; видовой состав, структура по высоте и количество подлеска; видовой состав, встречаемость и проективное покрытие живого напочвенного покрова. Кроме того, фиксировалась доля стихийной тропинойной сети. По итогам исследования был установлен видовой состав подроста, подлеска и травяно-кустарничкового яруса; для каждого структурного элемента фитоценоза определены дополнительные количественные и качественные показатели (численность, структура по высоте, встречаемость, жизненное состояние); выявлены особенности изменения видового состава растительности нижних ярусов за 16-летний период; установлены закономерности изменения состава травяно-кустарничкового яруса с удалением от пешеходных троп и дорог. Анализ выполнен с использованием коэффициента общности видов Жаккара. Установлено, что видовой состав живого напочвенного покрова по объектам исследования различен. С помощью коэффициента рассеивания видов А.П. Шенникова показано, что наиболее равномерно виды травяно-кустарничкового яруса размещены на опытных участках, удаленных магистральных прогулочных маршрутов. Молодое поколение основных пород представлено сосной, елью и березой с преобладанием по высоте мелкого (до 0,5 м) подроста. Отмечены усыхание подроста хвойных пород, снижение численности подроста сосны и ели, незначительное увеличение численности подлеска, появление под пологом сосново-березовых древоустоев самосева дуба и клена в количестве 60...200 экз./га. В составе подлеска на всех опытных участках

Для цитирования: Грязькин А.В., Кочкин А.А., Петрик В.В. Динамика состава растительности нижних ярусов в парковых фитоценозах // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 46–55. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.46

присутствуют рябина, крушина, калина, вишня численностью до 400 экз./га. Полученные результаты свидетельствуют, что наиболее уязвимым структурным элементом парковых фитоценозов является травяно-кустарничковый ярус. В зависимости от интенсивности рекреации (удаления опытного участка от основного маршрута отдыха горожан) число исчезнувших видов травянистых растений за 16-летний период составило от 3 до 6, при этом отмечено появление 1–3 новых. Сделан вывод о существенном влиянии отдыхающих на состав, структуру и состояние живого напочвенного покрова, подроста и подлеска.

Ключевые слова: парковый фитоценоз, живой напочвенный покров, подрост, подлесок, антропогенное воздействие, динамика видового состава.

Введение

Актуальность темы исследования обусловлена усилением влияния глобальной урбанизации и неизбежных ее последствий на парки и сады, расположенные в черте городов и крупных населенных пунктов. Интенсивное антропогенное воздействие оказывает негативное влияние на состав и состояние всех компонентов парковых биогеоценозов [2–6, 8–10, 12–14].

Видовой состав и состояние растительности городских парков рассматриваются во многих работах [2–6, 8], однако необходимость в расширении и углублении исследований в данной области остается на высоком уровне.

В результате интенсивной рекреации структурные элементы фитоценозов, функционирующих в условиях крупных городов, деградируют и распадаются за счет отпада отдельных особей или целых групп растений (популяций, видов, структурных элементов парковых ценозов) и существенного снижения индекса жизнеспособности древесных пород [2, 3, 6, 10, 12].

Видовой состав, структура и состояние насаждений в крупных городах неизбежно изменяются под влиянием антропогенных воздействий. Характер изменений напрямую зависит от множества различных факторов, основными из которых являются интенсивность антропогенного воздействия и особенности биогеоценоза. К второстепенным факторам можно отнести характеристики древостоя (возраст, состав и полноту насаждения) и других компонентов фитоценоза [2, 3, 6, 9, 10].

Исследования проводились в крупнейшем парке Санкт-Петербурга – в парке «Сосновка». Цель работы – определение изменения видового состава структурных элементов парковых фитоценозов в условиях интенсивной рекреации.

Объекты и методы исследования

Парк «Сосновка» находится в черте города, его площадь – более 300 га. Северная его часть расположена на заболоченной местности, поэтому менее раздроблена городскими коммуникациями и по-прежнему сохраняет лесную среду и растения естественного происхождения, в отличие от южной части, где преобладают растения искусственного происхождения [2, 4].

В данном исследовании для описания парковых фитоценозов применялся метод круговых учетных площадок, совокупность которых должна статистически достоверно охарактеризовать исследуемый объект. Оценивалось состояние фитоценозов, в которых сохранились основные компоненты естественного происхождения – древостой, подрост, подлесок и травостой.

Исследуемые опытные участки – сосняки с примесью березы. Тип леса – сосняк долгомошник. Все объекты исследования (1–5) находятся в северо-восточной равнинной части парка на некотором отдалении от водного бассейна (лесное озеро естественного происхождения). Объекты располагаются между мелиоративными канавами, которые не выполняют своих функций, так как не ремонтировались несколько десятилетий. Основные характеристики объектов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Состояние древостоев на объектах исследования в 2016 г.

Характеристика	1	2	3	4	5
Состав древостоя, %	8С2Б	8С2Б	9С1Б	9С1Б	9С1Б
Количество деревьев, экз./га	1145	1029	1036	1027	1067
Средняя высота древостоя, м	11,8	12,0	11,9	12,2	12,3
Средний диаметр древостоя, см	10,9	12,0	12,0	12,3	12,5
Класс бонитета	V	V	V	V	V
Запас, м ³ /га	63	70	70	74	80
Удаление от дороги, м	0	25	50	100	150
Доля дорожно-тропиночной сети, %	23	32	37	38	38

Объект 1 расположен непосредственно у дороги, объект 5 удален от дороги на 150 м. Ширина дороги для пешеходов, велосипедистов и родителей с детскими колясками – 3...4 м.

Полевые работы по учету нижних ярусов растительности осуществлены в соответствии с методикой, разработанной на кафедре лесоводства СПбГЛТУ [1]. На каждом объекте был проведен сплошной пересчет деревьев и учет нижних ярусов растительности на 30 круговых учетных площадках радиусом 178,5 см (площадь – 10 м²), примыкающих друг к другу, т. е. учетная лента состояла из дискретных круговых площадок. При выполнении учетных работ установлено количество видов травянистых растений, кустарничков и мхов, произрастающих на опытном участке, а также их встречаемость и проективное покрытие, для подроста и подлеска – численность, видовой состав, структура по высоте и состояние.

Для характеристики флористического сходства двух разных объектов и оценки различий видового состава по годам учетов использовали коэффициент Жаккара [11]:

$$K_{ж} = N_{ab} / (N_a + N_b - N_{ab}),$$

где N_{ab} – общее число видов на сравниваемых участках a и b ;
 N_a и N_b – число видов на первом (a) и втором (b) участках.

Пределы изменения этого коэффициента составляют от 0 до 1.

При $K_{ж} = 1$ отмечается полное сходство видового состава растительных сообществ (абсолютное совпадение), при $K_{ж} = 0$ – сравниваемые растительные сообщества не имеют ни одного общего вида.

Коэффициенты рассеивания видов по А.П. Шенникову [7] рассчитывали по формуле

$$K_p = N/n,$$

где N – общее число видов на объекте, экз.;

n – среднее число видов на учетной площадке, экз.

На каждом опытном участке определяли долю стихийной тропинойной сети (показатель интенсивности прямого антропогенного воздействия на парковые фитоценозы) в процентах от общей площади опытного участка. Площадь, занятую дорожками и тропинками, рассчитывали, умножая их ширину на длину.

Результаты исследования и их обсуждение

Главная особенность лесных фитоценозов в условиях интенсивной рекреации – угнетенность или полное отсутствие отдельных их компонентов, трансформация всей экосистемы под прямым воздействием человека. В парке в большей степени деградирован живой напочвенный покров, подрост и подлесок также испытывают негативное влияние рекреации, но на них это сказывается не так быстро. В меньшей степени влиянию отдыхающих подвержен древостой.

По нашему мнению, одной из объективных характеристик степени трансформации и угнетения структурных элементов парковых фитоценозов является доля стихийной дорожно-тропинойной сети. Она свидетельствует об интенсивности прямого антропогенного воздействия на экосистему. Данные, представленные в табл. 1, показывают, что густота дорожно-тропинойной сети закономерно уменьшается с удалением от основных (магистральных) прогулочных маршрутов. Причем, как было установлено в ходе наших исследований, на отдельных участках опытных объектов ее доля увеличивается. Этот показатель динамичный, так как ежегодно ситуация меняется: старые тропинки зарастают (как правило, пионерными видами), новые появляются.

На опытных участках, расположенных в глубине парка, имеются кустрища, вокруг которых растительность нижних ярусов уничтожена полностью. В зависимости от «интенсивности эксплуатации» их площадь может составлять от 5...10 до 25...40 м².

В табл. 2 представлены данные видового состава, численности и распределения по категориям жизнеспособности подроста и подлеска с 2000 по 2016 г. Сравниваются характеристики подроста и подлеска на объектах 1 и 5, испытывающих разный уровень рекреационной нагрузки.

Как видно из данных табл. 2, численность подроста в целом снижается, подлеска – увеличивается. На объекте 1 (в непосредственной близости от прогулочных маршрутов) общая численность подроста уменьшилась с 803 до 434 экз./га (или на 46 %), на объекте 5 – с 804 до 634 экз./га (всего на 21 %).

Таблица 2

Численность (экз./га) и распределение по категориям состояния подроста и подлеска за 16 лет

Порода	2000 г.		2016 г.	
	Объект 1	Объект 5	Объект 1	Объект 5
Сосна	33/134	67/134	-/67	67/100
Дуб	-/67	201/-	67/-	33/67
Клен	-	67/-	33/-	33/-
Береза	335/234	134/201	134/100	201/100
Ель	-	-	-/33	-/33
<i>Итого подроста</i>	368/435	469/335	234/200	334/300
Вишня	-/67	-	33/33	67/-
Рябина	67/134	335/67	33/167	368/100
Крушина	-/67	134/67	-	201/33
Калина	33/-	100/-	-/67	134/33
<i>Итого подлеска</i>	100/234	569/134	66/267	770/166

Примечание. В числителе приведены данные для жизнеспособной категории, в знаменателе – для нежизнеспособной.

Незначительное увеличение численности подлеска происходит преимущественно за счет рябины и привнесенных видов – вишни и калины.

Данные табл. 3 отражают изменение состава основных (преобладающих) видов живого напочвенного покрова на объектах исследования за 16-летний период. Формула состава травостоя рассчитана по проективному покрытию пяти доминантных видов (сфагнум, кукушкин (К. лен), багульник, осока, голубика).

Таблица 3

Динамика (%) состава травостоя на объектах исследования за 16 лет

Удаление объектов от магистральных прогулочных маршрутов, м	Состав травостоя
	<i>2000 г.</i>
1...0	31Сфагнум 27К.лен 21Багульник 11Осока 10Голубика
2...25	29Сфагнум 28К.лен 19Багульник 15Голубика 9Осока
3...50	31Сфагнум 30К.лен 17Голубика 12Багульник 10Пушица
4...100	30Сфагнум 28К.лен 18Багульник 15Голубика 9Пушица
5...150	33Сфагнум 26К.лен 21Голубика 14Багульник 6Черника
	<i>2016 г.</i>
1...0	34К.лен 23Сфагнум 17Осока 15Багульник 11Голубика
2...25	30К.лен 27Сфагнум 18Багульник 13Осока 12Голубика
3...50	34К.лен 22Сфагнум 17Голубика 15Багульник 14Пушица
4...100	26Сфагнум 25К.лен 19Багульник 19Голубика 11Пушица
5...150	30Сфагнум 29К.лен 21Голубика 15Багульник 5Черника

Под влиянием антропогенных факторов наиболее существенно и динамично изменяется видовой состав живого напочвенного покрова. В сосняках на переувлажненных почвах за период наблюдений сократилась доля сфагновых мхов. Кукушкин лен, наоборот, увеличил свое присутствие, следовательно, этот вид оказался более устойчивым к вытаптыванию. Более полное представление об устойчивости видов в составе живого напочвенного покрова дают сведения, приведенные в табл. 4.

Таблица 4

Видовой состав живого напочвенного покрова на объектах исследования в 2016 г.

Вид	1	2	3	4	5
Голубика (<i>Vaccinium uliginosum</i> L.)	+	+	+	+	+
Черника (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	+	+	+	+	+
Вереск (<i>Calluna vulgaris</i> L.)	+	+	+	+	+
Брусника (<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.)	–	–	+	+	+
Багульник (<i>Lédum palustre</i> L.)	+	+	+	+	+
Клюква (<i>Oxycoccus palustris</i> L.)	–	–	+	+	+
Мятлик луговой (<i>Poa pratensis</i> L.)	+	+	–	+	+
Гравилат городской (<i>Géum urbánum</i> L.)	+	+	–	–	–
Подбел (<i>Andrómeda polifolia</i> L.)	–	+	+	+	+
Пушица (<i>Erióphorum angustifolium</i> L.)	–	+	+	+	+
Подорожник (<i>Plantágo májor</i> L.)	+	–	–	–	–
Щучка (<i>Deschampsia cespitosa</i> L.)	+	–	–	–	–
Восковница обыкновенная (<i>Myrica gale</i> L.)	–	+	+	+	+
Грушанка (<i>Pyrola rotundifolia</i> L.)	–	–	+	+	+
Ситник развесистый (<i>Juncus effusus</i> L.)	–	–	+	+	+
Вороника (<i>Émpetrum nigrum</i> L.)	–	–	+	+	+
Марьянник (<i>Melampýrum sylvaticum</i> L.)	–	+	+	+	+
Вейники (<i>Calamagrostis</i>)	–	+	–	–	–
Одуванчик (<i>Taraxácum officinále</i> L.)	+	–	–	–	–
Осоки (<i>Cárex</i>)	–	+	+	+	+
Зеленые мхи (<i>Bryidae</i>)	+	+	+	+	+
Кукушкин лен (<i>Polýtrichum commune</i> L.)	+	+	+	+	+
Сфагнумы (<i>Sphagnum</i>)	+	+	+	+	+

В живом напочвенном покрове на опытных участках парка встречаются всего 23 вида, преобладают *Vaccinium uliginosum* L., *Lédum palustre* L., *Erióphorum angustifolium* L., а также мхи из рода *Sphagnum*, *Polýtrichum* и *Pleurozium*. Из указанного перечня на объекте 1 не выявлено 10 видов. Если не учитывать рудеральные виды, которые характерны только для этого участка, то доля коренных видов здесь составит менее 50 % от общего количества. На участках, удаленных от основных прогулочных маршрутов, доля коренных видов – 75 %.

В структуре нижних ярусов растительности парка за 16 лет произошли заметные изменения (табл. 5).

Динамика основных характеристик травяно-кустарничкового яруса на объекте 1 за 16 лет

Характеристика	2000 г.	2006 г.	2012 г.	2014 г.	2016 г.
Количество видов на учетной площади, шт.	4,5	4,0	3,7	3,5	3,6
Общее проективное покрытие, %	64	60	55	53	53
Доля дорожно-тропиночной сети, %	23	32	37	38	38

На опытном участке у дороги (объект 1) за указанный период исчезло несколько видов: *Vaccinium vitis-idaea* L., *Oxycoccus palustris* L., *Andróméda polifolia* L., *Pyrola rotundifolia* L., *Myrica gale* L., *Melampýrum sylvaticum* L. Общее проективное покрытие заметно снизилось – с 64,3 (2000 г.) до 52,7 % (2016 г.). Исчезновение перечисленных выше видов сопровождалось появлением рудеральных: *Taraxácum officinále* L., *Plantágo májor* L., *Géum urbánum* L.

Проведенные геоботанические исследования показывают, что по проективному покрытию в составе травостоя преобладает небольшое число видов. Коэффициент рассеивания видов изменяется значительно: от 4,0 до 5,6. Это означает, что сложение травостоя на исследованных площадях неравномерное. При равномерном распределении $K_p = 1,0$. Для подроста $K_p = 3,6...5,5$, для подлеска – 4,0...6,0. Полученные значения коэффициента рассеивания и количество видов на учетных площадках свидетельствуют о том, что горизонтальное строение нижних ярусов фитоценоза неравномерное.

Коэффициент общности видов в составе живого напочвенного покрова при сравнении объектов 1 и 5 составляет 0,62. Это означает, что видовой состав различается на 38 %. Для объектов 3 и 5 данный коэффициент равен 0,94, что свидетельствует о том, что видовой состав практически одинаковый. Отсюда следует, что наиболее отчетливо антропогенное влияние на фитоценозы проявляется в непосредственной близости от прогулочных маршрутов.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о том, что за последние 16 лет интенсивность рекреационной нагрузки на парковые фитоценозы возросла, так как посещаемость парка заметно увеличилась. Лишь в 2014–2016 гг. не выявлено увеличения антропогенного воздействия на нижние ярусы растительности парка, что можно объяснить ужесточением правил содержания городских парков и, возможно, повышением экологической культуры граждан.

Заключение

На всех исследуемых объектах отмечено изменение структуры и видового состава нижних ярусов растительности в парковых фитоценозах. Доказательством могут служить значения коэффициентов рассеивания видов и общности видов живого напочвенного покрова. На их основе можно сделать обобщающий вывод о том, что с удалением от основных прогулочных маршрутов видовой состав живого напочвенного покрова существенно изменяется.

Наблюдаются выпадение коренных видов из состава живого напочвенного покрова и появление сорных видов. Рудеральные виды встречаются только в непосредственной близости от дорог и пешеходных троп.

На основании проведенного исследования можно дать рекомендации по снижению антропогенной нагрузки на отдельных участках путем организации специальных мест и маршрутов для массового отдыха граждан. Эти мероприятия позволят минимизировать вред для парковых экосистем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Грязькин А.В. Влияние метода на точность и достоверность результатов исследования // Изв. СПбЛТА. 1999. С. 12–18.
2. Грязькин А.В., Петрик В.В., Смертин В.Н. Динамика состояния древостоев в крупнейшем парке Санкт-Петербурга // Лесн. журн. 2011. № 6. С. 23–31. (Изв. высш. учеб. заведений).
3. Петрик В.В., Грязькин А.В., Смертин В.Н. Динамика структуры и состояния парковых фитоценозов. Архангельск: САФУ, 2015. 97 с.
4. Смертин В.Н., Грязькин А.В. Особенности парцеллярной структуры парковых фитоценозов // Лесн. журн. 2008. № 4. С. 33–38. (Изв. высш. учеб. заведений).
5. Султанова Р.Р., Конашова С.И. Антропогенная динамика травяного яруса // Актуальные проблемы лесного комплекса. Брянск: БГИТА, 2000. Вып. 1. С. 37–39.
6. Феклистов П.А. Насаждения деревьев и кустарников в условиях урбанизированной среды г. Архангельска. Архангельск: АГТУ, 2004. 112 с.
7. Шенников А.П. Введение в геоботанику. Л.: ЛГУ, 1964. 447 с.
8. Bassuk N., Whitlow T. Environmental Stress in Street Trees // *Arboricultural journal*. 1988. Vol. 12, iss. 2. Pp. 195–201.
9. Burchett M., Wood R. Indoor Plants and Pollution Reduction // *Journal of Home & Consumer Horticulture*. 1994. Iss. 2-3. Pp. 255–264.
10. Eckert R., Kuczma N. Der Georgengarten // *Garten + Landschaft*. 1998. No. 11. Pp. 28–30.
11. Jaccard P. The Distribution of the Flora in the Alpine Zone // *New Phytologist*. 1912. Vol. 11, iss. 2. Pp. 37–50.
12. Lohmus E. Anthropogenous Forest Site Types on Drained Peatlands // *Anthropogenous Changes in the Plant Cover of Estonia* / Ed. by L. Laasimer. Tartu: Academy of Sciences of the Estonian SSR Publ., 1981. Pp. 77–90.
13. Mayer H. *Waldbau auf soziologisch-okologischer Grundlage*. Stuttgart, Germany: Gustav Fischer, 1980. 483 p.
14. Seits P. Mit Pflanzen gegen Smog. Besser Luftqualitat durth Innenraumbegreunung // *Gartenamt*. 1995. Vol. 44, no. 1. Pp. 51–54.

Поступила 12.06.17

UDC 630*231

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.46

Dynamics of Understory Vegetation Structure in the Park Phytocenosis

A.V. Gryaz'kin¹, Doctor of Biological Sciences, Professor

A.A. Kochkin¹, Postgraduate Student

V.V. Petrik², Doctor of Agricultural Sciences, Professor

¹Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov, Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation; e-mail: lesovod@bk.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: v.petrik@narfu.ru

The paper presents the results of a comparative analysis of the species composition of live ground cover, understory and undergrowth in the largest park Sosnovka in Saint Petersburg over a long observation period. The main part of the park is represented by phytocenoses of natural origin, where the research objects located at different distances from the main walking routes are chosen. The stand in all sites is represented by pine with a small admixture of birch. The forest type is a polytric pine forest, of the 5th quality class. The growing stock is 60...80 m³/ha. The vegetation of the understory is recorded comprehensively on circular discount areas of 10 m². 30 plots are established at each site, where species composition, height structure, quantity and condition of undergrowth; species composition, height structure, quantity of understory; species composition, occurrence and projective cover of live ground cover are taken into account simultaneously. In addition, we record the share of the spontaneous footpath network. According to the results of the study, the species composition of undergrowth, understory and grass and shrub layer is established. Additional quantitative and qualitative indicators (number, height structure, occurrence, vital state) are determined for each structural element of the phytocenosis. We reveal the peculiarities of the species composition changes of the lower storey vegetation over a 16-year period. The patterns of development in the grass and shrub layer composition at a distance from hiking trails and roads are found. The analysis is performed using the Jaccard's coefficient of community. The species composition of the live ground cover is different in the objects of the study. The experimental sites remote from the main walking routes have the uniform distribution of grass and shrub species. This fact is proved using the Shennikov's coefficient of species dispersion. The young generation of the main species is represented by pine, spruce and birch with the predominance of small (up to 0.5 m) undergrowth. The softwood dying off, a decrease in the number of pine and spruce undergrowth, an insignificant increase in the number of understory, the appearance of seedling growth of oak and maple under the canopy of pine and birch stands in the amount of 60...200 specimens/ha are observed. Mountain ash, buckthorn, arrowwood, cherry in abundance of up to 400 specimens/ha are noted in understory of all experimental plots. The obtained results demonstrate the grass and shrub layer as the most vulnerable structural element of park phytocenoses. Depending on the intensity of recreation (removal of the experimental site from the main recreation route of citizens), the number of extinct species of herbaceous plants over a 16-year period varies

For citation: Gryaz'kin A.V., Kochkin A.A., Petrik V.V. Dynamics of Understory Vegetation Structure in the Park Phytocenosis. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 46–55. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.46

from 3 to 6, and the appearance of 1–3 new species is marked. The authors make a conclusion about the significant influence of visitors on the composition, structure and condition of live ground cover, undergrowth and understory.

Keywords: park phytocenosis, live ground cover, undergrowth, understory, anthropogenic impact, dynamics in species composition.

REFERENCES

1. Gryaz'kin A.V. Vliyanie metoda na tochnost' i dostovernost' rezul'tatov issledovaniya [The Method Effect on the Accuracy and Reliability of the Results of Investigation]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 1999, pp. 12–18.
2. Gryaz'kin A.V., Petrik V.V., Smertin V.N. Dinamika sostoyaniya drevostoya v krupneyshe parke Sankt-Peterburga [Changes in the Stand State in the Largest Park of St. Petersburg]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2011, no. 6, pp. 23–31.
3. Petrik V.V., Gryaz'kin A.V., Smertin V.N. *Dinamika struktury i sostoyaniya parkovykh fitotsenozov v usloviyakh intensivnoy rekreatsii* [Dynamics of the Structure and State of Park Plant Communities in Intensive Recreation]. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2015. 97 p. (In Russ.)
4. Smertin V.N., Gryaz'kin A.V. Osobennosti partsel'nykh struktury parkovykh fitotsenozov [Peculiarities of Parcel Structure of Park Phytocenoses]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 4, pp. 33–38.
5. Sultanova R.R., Konashova S.I. Antropogennaya dinamika travyanogo yarusy [Anthropogenic Dynamics of the Herb Layer]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa*, 2000, no. 1, pp. 37–39.
6. Feklistov P.A. *Nasazhdeniya derev'ev i kustarnikov v usloviyakh urbanizirovannoy sredy g. Arkhangel'ska* [Plantations of Trees and Shrubs in the Urbanized Environment of Arkhangelsk]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2004. 112 p. (In Russ.)
7. Shennikov A.P. *Vvedenie v geobotaniku* [Introduction to Geobotany]. Leningrad, LSU Publ., 1964. 447 p. (In Russ.)
8. Bassuk N., Whitlow T. Environmental Stress in Street Trees. *Arboricultural journal*, 1988, vol. 12, iss. 2, pp. 195–201.
9. Burchett M., Wood R. Indoor Plants and Pollution Reduction. *Journal of Home & Consumer Horticulture*, 1994, iss. 2-3, pp. 255–264.
10. Eckert R., Kuczma N. Der Georgengarten. *Garten + Landschaft*, 1998, no. 11, pp. 28–30.
11. Jaccard P. The Distribution of the Flora in the Alpine Zone. *New Phytologist*, 1912, vol. 11, iss. 2, pp. 37–50.
12. Lohmus E. Anthropogenous Forest Site Types on Drained Peatlands. *Anthropogenous Changes in the Plant Cover of Estonia*. Ed. by L. Laasimer. Tartu, Academy of Sciences of the Estonian SSR Publ., 1981, pp. 77–90.
13. Mayer H. *Waldbau auf soziologisch-okologischer Grundlage*. Stuttgart, Germany, Gustav Fischer, 1980. 483 p.
14. Seits P. Mit Pflanzen gegen Smog. Besser Luftqualität durth Innenraumbegreenung. *Gartenamt.*, 1995, vol. 44, no. 1, pp. 51–54.

Received on June 12, 2017

УДК 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ПРОИЗРАСТАНИЯ

О.Н. Тюкавина¹, канд. с.-х. наук, доц.

Д.Н. Клевцов¹, канд. с.-х. наук, доц.

И.И. Дроздов², д-р с.-х. наук, проф.

В.И. Мелехов¹, д-р техн. наук, проф.

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: olga-tukavina@yandex.ru

²Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ), ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141005; тел.: 8 (498) 687-38-88

Показателем качества древесного сырья является плотность древесины, зависящая как от морфологических и анатомических характеристик деревьев, так и от экологических условий их произрастания. Цель исследования – изучение условной плотности древесины сосны в различных лесорастительных условиях и выявление зависимости этого показателя от ее анатомических характеристик. Пробные площади закладывали в сосновых насаждениях Архангельского, Северодвинского и Верхнетоемского лесничеств Архангельской области. Условную плотность древесины определяли по способу максимальной влажности образцов, имеющих сравнительно небольшой объем. Условная плотность древесины сосны в северной подзоне тайги составляет 0,340...0,580 г/см³, в средней подзоне в сосняках черничных она ниже на 7...22 %, у сосны по болоту – на 24 %. По усредненным значениям условной плотности древесины сосны в различных условиях произрастания отмечается высокая теснота связи с радиальным приростом и возрастом насаждения. Однако на уровне дерева или насаждения связи между ними не выявлено, но обнаружена умеренная теснота связи данного показателя с процентом поздней древесины. Между толщиной стенок трахеид, диаметром люмена, количеством рядов ранних и поздних трахеид и условной плотностью древесины сосны установлена криволинейная корреляция от умеренной до значительной, с диаметром смоляных ходов – высокая. Изменение условной плотности в поперечном направлении ствола сосны можно описать следующими моделями: модель 1 характеризуется снижением условной плотности в средней части радиуса ствола, модель 2 – ее повышением в средней части радиуса ствола, модель 3 – повышением условной плотности от сердцевины к коре, модель 4 – ее понижением. Наиболее часто встречается модель 2. Зависимости типа модели от морфометрических характеристик дерева не выявлено. Наибольшая условная плотность древесины в центральной части ствола

Для цитирования: Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Дроздов И.И., Мелехов В.И. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 56–64. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

характерна для большинства (более 67 %) деревьев сосны, произрастающих в рядовых посадках и на болоте.

Ключевые слова: условная плотность древесины, радиальный прирост, процент поздней древесины, трахеиды, модели.

Введение

Сосна обыкновенная – основная хозяйственно ценная древесная порода. Учитывая низкую биологическую продуктивность северных экосистем, истощение лесосырьевой базы, необходимо рационально использовать древесину сосны, базируясь на дифференцированном подходе к лесным ресурсам.

Качественным показателем древесного сырья является плотность древесины [4, 5, 8, 17], которая зависит как от морфологических и анатомических характеристик деревьев, так и от экологических условий их произрастания [3, 5, 9, 10]. С увеличением ширины годичного слоя плотность древесины уменьшается [5, 7, 10, 15, 19], но может наблюдаться и положительная корреляция между шириной годичного кольца и плотностью древесины [16, 18], например в ювенильном возрасте [12]. Плотность древесины имеет тесную корреляционную связь с процентом поздней древесины [1, 5, 10, 13], обусловленную толщиной ее стенок [1]. Деревья пониженной категории жизнеспособности отличаются повышенной плотностью древесины [2, 5, 6], однако в ряде работ отмечается отсутствие связи между плотностью древесины и классами роста [5]. Неоднозначны результаты изменения плотности древесины с повышением класса бонитета насаждений [4, 5]. Известно, что плотность древесины генетически наследуется [11, 14, 16]. Несмотря на многочисленные исследования в данной области, встречаются расхождения в вопросах влияния различных факторов на плотность древесины.

Цель исследования – оценка условной плотности древесины сосны в различных условиях произрастания и выявление зависимости ее от анатомических характеристик древесины.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили в сосновых насаждениях Архангельского, Северодвинского и Верхнетоемского лесничеств Архангельской области (табл. 1).

Пробные площади (ПП) закладывали в соответствии с требованиями ОСТ 56-69–83. На каждой ПП подбирали по 15 модельных деревьев пропорционально представленности по ступеням толщины. У каждого из них оценивали морфологические характеристики. На высоте 1,3 м с северной стороны дерева отбирали по 2 керна, один из которых разделяли на частички длиной 1 см.

Таблица 1

Характеристика сосновых насаждений

№ ПП	Тип леса	Состав древостоя	Высота, м	Диаметр, см	Возраст, лет	Относительная полнота
<i>Архангельское лесничество</i>						
1	Рядовые посадки в г. Архангельске	10С	9,0	20,0	38	–
2	Сосняк черничный	9С1Е+Б	22,0	23,0	117	0,70
3	« «	8С2Е+Б	22,0	24,0	101	0,57
4	Сосна по болоту	10С	10,0	15,0	120	0,30
<i>Северодвинское лесничество</i>						
5	Сосняк черничный	9С1Б	10,9	13,9	41	0,68
6	« «	9С1Еед.Б	10,0	14,2	41	0,75
7	« «	9С1Б	10,4	16,4	66	0,65
<i>Верхнетоемское лесничество</i>						
8	Сосняк черничный	9С1Еед.Б	21,0	32,0	84	0,35
9	« «	8С2Е+Б	23,0	28,0	86	0,58
10	Сосняк брусничный	10С	22,0	30,0	85	0,49
11	Сосняк кисличный	7С2Е1Б	21,0	30,0	81	0,60
12	Сосна по болоту	10С	12,0	16,0	98	0,40

Условную плотность древесины ($\rho_{\text{усл}}$) определяли для каждой частички по способу максимальной влажности образцов, имеющих сравнительно небольшой объем [2]. Ширину годичного слоя измеряли на полуавтоматическом комплексе для распознавания годичных колец «Линтаб-6» (с точностью $\pm 0,01$ мм). Для фиксации размеров гистологических элементов использовали микроскоп Axio Scope A1 и программное обеспечение Image-Pro Insight.

Результаты исследования и их обсуждение

В северной подзоне тайги условная плотность древесины сосны составляет $0,340 \dots 0,580$ г/см³ (табл. 2). В сосняках черничных средней подзоны она ниже на 7...22 %, у сосны по болоту – на 24 %.

Таблица 2

Условная плотность древесины сосны

№ ПП	Условная плотность, г/см ³	Радиальный прирост, мм	№ ПП	Условная плотность, г/см ³	Радиальный прирост, мм
1	0,340 \pm 0,010	2,6 \pm 0,14	7	0,410 \pm 0,014	1,6 \pm 0,16
2	0,490 \pm 0,013	1,2 \pm 0,13	8	0,380 \pm 0,012	2,4 \pm 0,15
3	0,440 \pm 0,012	0,8 \pm 0,14	9	0,380 \pm 0,018	2,5 \pm 0,13
4	0,580 \pm 0,040	0,4 \pm 0,09	10	0,400 \pm 0,015	2,0 \pm 0,14
5	0,390 \pm 0,012	1,7 \pm 0,14	11	0,390 \pm 0,022	3,0 \pm 0,21
6	0,370 \pm 0,018	2,0 \pm 0,15	12	0,440 \pm 0,038	0,6 \pm 0,08

Условная плотность древесины сосны в насаждении изменяется от малой до средней. Наибольшая изменчивость $\rho_{\text{усл}}$ у древесины сосны, произрастающей на болоте (29 %), наименьшая – в рядовых посадках (5 %). В сосняках черничных она составляет около 10 %.

По усредненным значениям условной плотности древесины сосны, произрастающей в различных лесорастительных условиях, установлена высокая теснота связи с радиальным приростом ($r = -0,89$ при $t = 13,4$) и возрастом насаждения ($r = 0,88$ при $t = 11,3$). Однако на уровне дерева или на уровне насаждения связи между данными показателями не обнаружено, но отмечается умеренная теснота связи $\rho_{\text{усл}}$ с процентом поздней древесины ($r = 0,37...0,47$ при $t = 2,3...4,6$).

Между условной плотностью древесины сосны и ее влажностью выявлена обратная значительная теснота связи ($r = -0,53...-0,55$ при $t = 3,9...5,1$).

Для получения микроскопических характеристик древесины сосны были изучены годовые кольца, заложенные в 2008–2010 гг. Установлено, что толщина стенок поздних трахеид изменяется от 4,2 до 9,9 мкм, диаметр люмена – от 10,5 до 22,0 мкм, количество рядов – от 7 до 30 шт.; толщина стенок ранних трахеид – от 1,3 до 4,2 мкм, диаметр люмена – от 40,0 до 67,0 мкм, количество рядов – от 6 до 34 шт. Для условной плотности древесины сосны со всеми показателями отмечается криволинейная корреляция от умеренной до значительной, с диаметром смоляных ходов – высокая (табл. 3).

Таблица 3

Зависимость условной плотности древесины сосны от ее микроскопических характеристик

Показатель связи *	Поздние трахеиды			Ранние трахеиды			Диаметр смоляных ходов, мкм
	толщина стенки	диаметр люмена	количество рядов	толщина стенки	диаметр люмена	количество рядов	
	мкм		рядов	мкм		рядов	
r	0,34	0,16	0,06	0,23	-0,24	-0,16	0,29
m_r	0,18	0,19	0,20	0,19	0,19	0,20	0,19
t_r	1,9	0,7	0,3	1,2	1,2	0,8	1,5
η	0,62	0,40	0,55	0,46	0,54	0,45	0,71
m_η	0,13	0,17	0,14	0,16	0,14	0,16	0,10
t_η	4,9	2,3	3,8	2,8	3,7	2,8	7,0

* r – коэффициент корреляции; m_r – ошибка коэффициента корреляции; t_r – достоверность; η – корреляционное отношение; m_η – ошибка корреляционного отношения; t_η – достоверность.

Изменение условной плотности в поперечном направлении ствола сосны можно описать следующими моделями (рис. 1): модель 1 характеризуется снижением $\rho_{\text{усл}}$ в средней части радиуса ствола, модель 2 – повышением $\rho_{\text{усл}}$ в средней части радиуса ствола, модель 3 – повышением $\rho_{\text{усл}}$ от сердцевины к коре, модель 4 – понижением $\rho_{\text{усл}}$ от сердцевины к коре.

Наиболее часто встречается модель 2 (табл. 4). На разных ПП (1–7) доминирование моделей изменяется, однако связи конкретной модели с полнотой древостоя и морфометрическими характеристиками дерева не установлено. Так, однофакторный дисперсионный анализ не выявил влияния на этот показатель относительной высоты и диаметра кроны ($\eta^2 = 0,06 \pm 0,04$ при $F = 1,47 < F_{st} = 2,8$; $\eta^2 = 0,07 \pm 0,04$ при $F = 1,8 < F_{st} = 2,8$ соответственно).

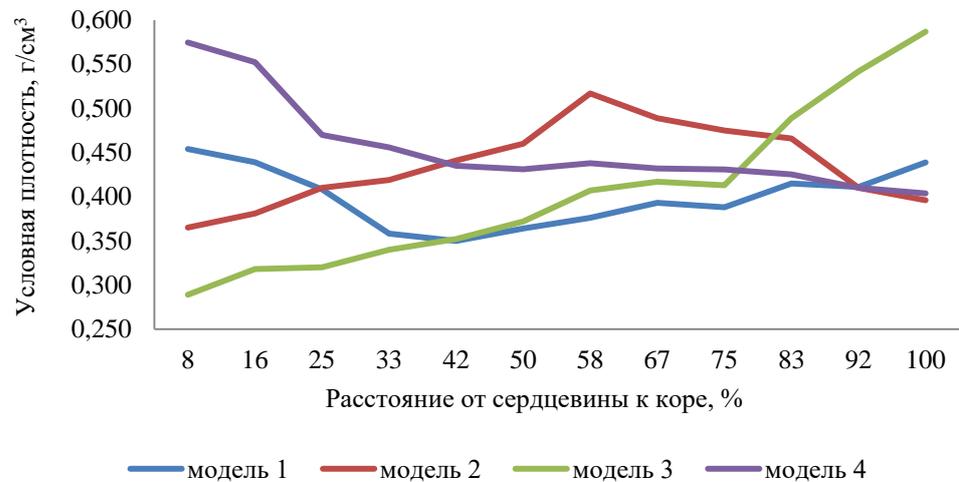


Рис. 1. Изменение плотности древесины сосны вдоль радиуса ствола

Таблица 4

Встречаемость (%) моделей изменения плотности древесины сосны вдоль радиуса ствола

№ ПП	Модель 1	Модель 2	Модель 3	Модель 4
1	50	33	–	17
2	7	50	43	–
3	–	73	20	7
4	31	15	15	39
5	31	50	–	19
6	8	76	8	8
7	7	43	50	–

Отмечается достоверная, но слабая зависимость изменения плотности древесины сосны вдоль радиуса ствола от возраста дерева ($\eta^2 = 0,15 \pm 0,04$ при $F = 3,76 < F_{st} = 2,8$).

Наибольшая условная плотность древесины в центральной части ствола характерна для большинства (более 67 %) деревьев сосны (модели 1 и 4) в древостоях с низкой относительной полнотой (ПП 1 и 2).

Заключение

Условная плотность древесины сосны в северной подзоне тайги составляет 0,340...0,580 г/см³, в средней подзоне тайги в сосняках черничных она ниже на 7...22 %, у сосны по болоту – на 24 %. Корреляционная связь условной плотности древесины с ее анатомическими характеристиками – от умеренной до значительной, что указывает на их комплексное воздействие. Изменение условной плотности в поперечном направлении ствола сосны предложено характеризовать 4 моделями. Зависимости типа модели от морфометрических характеристик дерева не выявлено. Отсутствие защиты полога древостоя на первых этапах развития дерева приводит к формированию наибольшей условной плотности древесины в центральной части ствола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Данилов Д.А., Скупченко В.Б. Изменения в строении древесины сосны и ели на анатомическом уровне в древостоях, пройденных рубками ухода и комплексным уходом // Лесн. журн. 2014. № 5. С. 70–88. (Изв. высш. учеб. заведений).
2. Ермакова М.В., Бессонова Т.П. Связь морфологических нарушений ствола с характеристиками древесины и размерами междоузлий у деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) I класса возраста // Аграр. вестн. Урала. 2010. № 1(67). С. 70–72.
3. Козлов В.А., Кистерная М.В., Неронова Я.А. Влияние лесохозяйственных мероприятий на плотность и химический состав древесины сосны обыкновенной // Лесн. журн. 2009. № 6. С. 7–13. (Изв. высш. учеб. заведений).
4. Краснов А.В., Гурский А.А. Изменение плотности древесины сосны в насаждениях государственной защитной лесной полосы Оренбургского лесхоза // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2007. Т. 3, № 15-1. С. 42–44.
5. Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесн. пром-сть, 1976. 160 с.
6. Рекомендации по оценке строения, товарной структуры и качества древесины разновозрастных ельников с целью организации выборочного хозяйства: метод. рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1989. 55 с.
7. Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учеб. для лесотехн. вузов. М.: МГУЛ, 2001. 340 с.
8. Федюков В.И., Салдаева Е.Ю., Цветкова Е.М. Ранняя диагностика технического качества подростка как важный элемент интенсификации лесопользования в России // Лесн. журн. 2012. № 6. С. 16–23. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Шаранов Е.С., Королев А.С., Хисамеева А.Р. Исследование влияния термической модификации на изменение плотности древесины по годичным слоям // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2013. Т. 16, № 22. С. 101–103.
10. Щекалев Р.В., Тарханов С.Н. Радиальный прирост и качество древесины сосны обыкновенной в условиях атмосферного загрязнения. Екатеринбург: УрО РАН, 2006. 127 с.
11. Fries A., Ericsson T. Estimating Genetic Parameters for Wood Density of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) // *Silvae Genetica*. 2006. No. 55. Pp. 84–92.
12. Hannrup B., Danell Ö., Ekberg I., Moëll M. Relationships Between Wood Density and Tracheid Dimensions in *Pinus sylvestris* L. // *Wood and Fiber Science*. 2001. Vol. 33, no. 2. Pp. 173–181.

13. Hannrup B., Ekberg I., Persson A. Genetic Correlations among Wood, Growth Capacity and Stem Traits in *Pinus sylvestris* // Scandinavian Journal of Forest Research. 2000. Vol. 15, iss. 2. Pp. 161–170.
14. Kang K.-Y., Zhang S.Y., Mansfield S.D. The Effects of Initial Spacing on Wood Density, Fibre and Pulp Properties in Jack Pine (*Pinus banksiana* L.) // Holzforschung. 2004. Vol. 58, iss. 5. Pp. 455–468.
15. Missanjo E., Matsumura J. Multiple Trait Selection Index for Simultaneous Improvement of Wood Properties and Growth Traits in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi // Forests. 2017. Vol. 8, iss. 4. Pp. 96–102.
16. Mörling T. Evaluation of Annual Ring Width and Ring Density Development Following Fertilisation and Thinning of Scots Pine // Annals of Forest Science. 2002. Vol. 59, no. 1. Pp. 29–40.
17. Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendain A.Z., Karppinen J., Ikonen V.-P. Differences in Growth and Wood Density Traits in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Genetic Entries Grown at Different Spacing and Sites // Silva Fennica. 2009. Vol. 43, no. 3. Pp. 339–354.
18. Wang T., Aitken S.N., Rozenberg P., Millie F. Selection for Improved Growth and Wood Density in Lodgepole Pine: Effects on Radial Patterns of Wood Variation // Wood and Fiber Science. 2000. Vol. 32, no. 4. Pp. 391–403.
19. Wilhelmsson L., Arlinger J., Spångberg K., Lundqvist S.-O., Grahn T., Hedenberg Ö., Olsson L. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden // Scandinavian Journal of Forest Research. 2002. Vol. 17, iss. 4. Pp. 330–350.

Поступила 18.05.17

UDC 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions

O.N. Tyukavina¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

D.N. Klevtsov¹, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor

I.I. Drozdov², Doctor of Agricultural Sciences, Professor

V.I. Melekhov¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: olga-tukavina@yandex.ru

²Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, Pervaya Institutskaya ul., 1, Mytishchi, Moscow oblast, 141005, Russian Federation; ph.: +7 (498) 687-38-88

Wood density is a quality indicator of wood raw materials, depending both on morphological and anatomical characteristics of trees, and on ecological conditions of their growth. The goal of research is to study the conventional pinewood density in various sites and to reveal the dependence of this indicator on its anatomical characteristics. We establish permanent sample plots in pine plantations of the Arkhangelsk, Severodvinsk and

For citation: Tyukavina O.N., Klevtsov D.N., Drozdov I.I., Melekhov V.I. Wood Density of Scots Pine in Different Growth Conditions. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 56–64. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.56

Verkhnyaya Toyma forest districts of the Arkhangelsk region. The conventional wood density is determined by the method of maximum humidity of samples of a relatively small volume. The conventional pinewood density in the northern taiga subzone is 0.340...0.580 g/cm³, it is lower by 7...22 % in the middle subzone in pine myrtillus forests, and in mires – by 24 %. We mark a high strength of relationship of conventional pinewood density and the radial increment and age of plantation under different growth conditions according to the averaged values. However, at the tree or plantation level, we do not observe any correlation between these indicators, but a moderate strength of relationship between this indicator and the latewood percent. The authors establish a curvilinear correlation from moderate to significant between the thickness of walls of tracheids, lumen diameter, number of rows of early and late tracheids and conventional pinewood density; and only with the resin channels diameter it is high. We can describe the change in conventional density in the transverse direction of pine trunk by the following models: the model 1 is characterized by a decrease in the conventional density in the middle part of the trunk radius; the model 2 – by its increase in the middle part of the trunk radius; the model 3 – by an increase in the conventional density from pith to bark; the model 4 – by its decrease. The model 2 is the most frequent. We do not reveal the dependence of the model type on the tree morphometric characteristics. The highest conventional wood density in the central part of the trunk is typical for the majority (more than 67 %) of pine trees growing in line plantings and in mires.

Keywords: conventional wood density, radial increment, latewood percent, tracheid, model.

REFERENCES

1. Danilov D.A., Skupchenko V.B. Izmeneniya v stroenii drevesiny sosny i eli na anatomicheskom urovne v drevostoyakh, proydennykh rubkami ukhoda i kompleksnym ukhodom [Changes in the Structure of Pine and Spruce on the Anatomical Level in the Stands Passed Cutting and Complex Care]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 5, pp. 70–88.
2. Ermakova M.V., Bessonova T.P. Svyaz' morfologicheskikh narusheniy stvola s kharakteristikami drevesiny i razmerami mezhdouzliy u derev'ev sosny obyknovennoy (*Pinus sylvestris* L.) I klassa vozrasta [The Relationship of Trunk Morphology Distortion with Wood Characteristics and Merithallus Sizes of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) of the 1st Age Class]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2010, no. 1(67), pp. 70–72.
3. Kozlov V.A., Kisternaya M.V., Neronova Ya.A. Vliyanie lesokhozyaystvennykh meropriyatiy na plotnost' i khimicheskii sostav drevesiny sosny obyknovennoy [Influence of Forestry Measures on Density and Chemical Wood Composition of Scotch Pine]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2009, no. 6, pp. 7–13.
4. Krasnov A.V., Gurskiy A.A. Izmenenie plotnosti drevesiny sosny v nasazhdeniyakh gosudarstvennoy zashchitnoy lesnoy polosy Orenburgskogo leskhoza [Pine Timber Density Variations in the State Forest Shelterbelts of the Orenburg Forest Enterprise]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia of Orenburg State Agrarian University], 2007, vol. 3, no. 15-1, pp. 42–44.
5. Poluboyarinov O.I. *Plotnost' drevesiny* [Wood Density]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1976. 160 p. (In Russ.)
6. *Rekomendatsii po otsenke stroeniya, tovarnoy struktury i kachestva drevesiny raznovozrastnykh el'nikov s tsel'yu organizatsii vyborochnogo khozyaystva* [Recommendations on the Evaluation of the Structure, Commodity Structure and Quality of

Wood of Uneven-Aged Spruce Forests with a View of the Selection System Management]. Leningrad, Leningrad Scientific Research Institute of Forestry Publ., 1989. 55 p. (In Russ.)

7. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood Science with the Principles of Forest Commodity Science]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 2001. 340 p. (In Russ.)

8. Fedyukov V.I., Saldaeva E.Yu., Tsvetkova E.M. Rannyya diagnostika tekhnicheskogo kachestva podrosta kak vazhnyy element intensivifikatsii lesopol'zovaniya v Rossii [Early Diagnosis of the Undergrowth Technical Quality as an Important Element of the Forest Management Intensification in Russia]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 6, pp. 16–23.

9. Sharapov E.S., Korolev A.S., Khisameeva A.R. Issledovanie vliyaniya termicheskoy modifikatsii na izmenenie plotnosti drevesiny po godichnym sloyam [The Influence of Thermal Modification on the Change in Wood Density by Annual Rings]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2013, vol. 16, no. 22, pp. 101–103.

10. Shchekalev R.V., Tarkhanov S.N. *Radial'nyy prirost i kachestvo drevesiny sosny obyknovennoy v usloviyakh atmosfernogo zagryazneniya* [Radial Increment and Quality of Pine Wood in Conditions of Atmospheric Pollution]. Yekaterinburg, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2006. 127 p. (In Russ.)

11. Fries A., Ericsson T. Estimating Genetic Parameters for Wood Density of Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). *Silvae Genetica*, 2006, no. 55, pp. 84–92.

12. Hannrup B., Danell Ö., Ekberg I., Moëll M. Relationships Between Wood Density and Tracheid Dimensions in *Pinus sylvestris* L. *Wood and Fiber Science*, 2001, vol. 33, no. 2, pp. 173–181.

13. Hannrup B., Ekberg I., Persson A. Genetic Correlations among Wood, Growth Capacity and Stem Traits in *Pinus sylvestris*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2000, vol. 15, iss. 2, pp. 161–170.

14. Kang K.-Y., Zhang S.Y., Mansfield S.D. The Effects of Initial Spacing on Wood Density, Fibre and Pulp Properties in Jack Pine (*Pinus banksiana* Lamb.). *Holzforschung*, 2004, vol. 58, iss. 5, pp. 455–468.

15. Missanjo E., Matsumura J. Multiple Trait Selection Index for Simultaneous Improvement of Wood Properties and Growth Traits in *Pinus kesiya* Royle ex Gordon in Malawi. *Forests*, 2017, vol. 8, iss. 4, pp. 96–102.

16. Mörling T. Evaluation of Annual Ring Width and Ring Density Development Following Fertilisation and Thinning of Scots Pine. *Annals of Forest Science*, 2002, vol. 59, no. 1, pp. 29–40.

17. Peltola H., Gort J., Pulkkinen P., Gerendai A.Z., Karppinen J., Ikonen V.-P. Differences in Growth and Wood Density Traits in Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Genetic Entries Grown at Different Spacing and Sites. *Silva Fennica*, 2009, vol. 43, no. 3, pp. 339–354.

18. Wang T., Aitken S.N., Rozenberg P., Millie F. Selection for Improved Growth and Wood Density in Lodgepole Pine: Effects on Radial Patterns of Wood Variation. *Wood and Fiber Science*, 2000, vol. 32, no. 4, pp. 391–403.

19. Wilhelmsson L., Arlinger J., Spångberg K., Lundqvist S.-O., Grahn T., Hedenberg Ö., Olsson L. Models for Predicting Wood Properties in Stems of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2002, vol. 17, iss. 4, pp. 330–350.

Received on May 18, 2017



УДК 630*232.427

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.65

ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИМЕНЕНИЯ И КОМПОНОВКИ ТРАКТОРНОГО АГРЕГАТА ДЛЯ ПОСАДКИ ЛЕСНЫХ ПОЛОС НА ОПУСТЫНЕННЫХ ТЕРРИТОРИЯХ

С.Н. Орловский, канд. техн. наук, доц.

Красноярский государственный аграрный университет, пр. Мира, д. 90, г. Красноярск, Россия, 660049; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

Существующие технологии посадки саженцев лесных культур и их полива во влагодефицитных районах России не обеспечивают удовлетворительной приживаемости. Полив лесных культур в лесополосах производится, как правило, «под корень» посредством шланга из емкости с водой. При этом расход воды на одно растение составляет 20...30 л, из которых 90 % рассеивается в почве или испаряется. Цель работы – обоснование конструктивных и геометрических параметров, режимов работы дискофрезерного рабочего органа орудия для прокладки щелей под посадку лесных культур в лесополосах с одновременной укладкой поливочного шланга и разметкой посадочных мест, а также компоновочной схемы тракторного агрегата, режимов резания минеральных грунтов, конструктивных и геометрических параметров рабочих органов. Метод исследования – оптимизация параметров агрегата и его рабочего органа посредством расчета затрат мощности на выполнение технологического процесса по его элементам. Результаты исследования – конкретные значения углов заострения и установки резцов дисковой фрезы, скоростей резания и движения, баланс мощности агрегата и его производительность. Область применения – посадка лесных полос на опустыненных территориях в условиях дефицита воды для полива лесных культур в первые 5-6 лет после посадки. На основании полученных результатов возможно обосновать конструкцию и компоновку тракторного агрегата с рабочим органом в виде дисковой фрезы и шлангоукладчика, определить конструктивные и геометрические размеры рабочего органа, а также затраты мощности по элементам технологического процесса. Это позволит увеличить производительность труда, уменьшить нарушения почвенного покрова и сократить затраты на посадку лесных полос.

Ключевые слова: подкорневой полив, технологии посадки и полива саженцев, прокладка шланга, компоновка и конструкция агрегата.

Для цитирования: Орловский С.Н. Обоснование технологии применения и компоновки тракторного агрегата для посадки лесных полос на опустыненных территориях // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 65–75. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.65

Введение

Лесоразведение в южных засушливых степях стало развиваться в конце XVIII – начале XIX в. [1]. В Советской России с 1923 г. в районах засушливой зоны стали создаваться новые участки с лесными полосами. К началу Великой Отечественной войны уже было 450 тыс. га полезащитных лесных полос.

Лесные полезащитные полосы, растущие в открытой степи, представляют естественную преграду для ветров, собирая снег в виде отлогих сугробов, создают более благоприятные условия для накопления влаги на прилегающих полях [3].

При посадке лесных полос возникают проблемы механизации работ, так как посаженные в сухую нечерноземную почву лесные культуры, как правило, без полива не приживаются. Полив лесных культур в лесополосах производится «под корень» посредством шланга от емкости с водой или автомобиля-водовоза. Расход воды на одно растение при этом составляет 20...30 л, из которых 90 % не усваивается корнями, а рассеивается в почве и испаряется. Полив дождеванием на привозной воде дорог, существующие подкорневые системы полива сложны и трудоемки в изготовлении, капельное орошение требует прокладки большого количества коммуникаций и распределительных устройств [4, 10].

По данным профессора А.Г. Гаеля, без проведения поливов лесных культур количество физиологически доступной влаги в корнеобитаемом слое (до 0,4 м) песчаных почв с учетом максимальной молекулярной влагоемкости составляет 0,5...1,0 %, легко-супесчаных – 1,0...1,5 %, супесчаных – 1,5...2,0 %. Этого явно недостаточно для роста лесных культур [1]. Необходимо отметить, что потребность в поливе отпадает после достижения корневыми системами лесных культур насыщенных влагой слоев почвы. Практически это происходит через 5-6 лет после посадки лесных полос.

Объекты и методы исследования

Цель работы – создание оборудования для посадки полезащитных лесных полос на опустыненных территориях, которое позволит механизировать данный процесс, повысить производительность труда и качество работ, облегчить условия труда и снизить затраты энергии на выполнение технологического процесса.

Это может быть обеспечено оснащением тракторного агрегата специальным оборудованием по прокладке щелей под посадку с одновременной укладкой поливочного шланга и разметкой посадочных мест. Достоинством предлагаемой технологии орошения является снижение объемов воды, используемой для полива одного саженца, до 1,25...1,75 л, т. е. в 20–30 раз меньше того количества, которое предполагается по технологии прямого поверхностного полива. Подкорневой полив и подкормка растений обеспечат в засушливых районах страны их приживаемость в период роста. Система

подкорневого полива, работающая в автоматическом режиме без внешних источников энергии, по сравнению с поверхностным поливом экономит более 90 % воды.

Нами предложено оптимизировать конструкцию орудия для прорезания щелей в грунте по трассам будущих лесных полос и прокладки перфорированных пластмассовых шлангов для подкорневого полива и подкормки саженцев; разработать систему дозированной подачи воды для полива; изучить влияние конструкции рабочего органа щелерезного орудия на энергоемкость технологического процесса тракторного агрегата.

Экспериментальные исследования были выполнены на созданной автором машине дискофрезерной мерзлотной (МДМ) и стационарном поливочном баке при посадке лесных полос в Бейском районе Республики Хакасия в 1985 г. [6]. Проведены измерения крутящего момента на валу фрезы и частоты его вращения, усилий резания на резцах, скорости движения агрегата и тягового сопротивления орудия. Результаты измерений записывались с помощью осциллографа и обрабатывались с применением современных информационных технологий [9] по методике [5, 8]. При прокладке щелей с укладкой поливочных шлангов фиксировалась рабочая скорость агрегата, при поливе – расход воды.

При прорезании щелей для посадки саженцев в минеральных грунтах с каменистыми включениями и одновременной прокладке поливочных шлангов использовался агрегат на базе трактора ДТ-75МХ (с ходоуменьшителем) или его аналога с щелерезным орудием и шлангоукладчиком (рис. 1, а, б).

В конструкцию агрегата входит орудие с дискофрезерным рабочим органом, предназначенное для прорезания щелей в грунте с одновременной прокладкой поливочных шлангов. Оно состоит из хребтовой сварной рамы, на которой смонтирован двухступенчатый коническо-цилиндрический редуктор. На выходном валу редуктора установлена дисковая фреза диаметром 1100 мм, по окружности которой в пазах смонтированы три группы резцов (24 шт.) с твердосплавными рабочими кромками. При износе резцы переставляются на другую режущую грань без переточки.

Орудие навешивается на прицепную серьгу трактора, перевод его в транспортное положение производится раскосами подъемных рычагов, привод активного рабочего органа осуществляется от вала отбора мощности (ВОМ) трактора посредством карданного вала. В передней части трактора смонтирована шланговая катушка, предназначенная для установки бухты (длина шланга – до 500 м). Управление навеской катушки производится с помощью гидроцилиндра, обзор катушки при навешивании и работе обеспечивается зеркалами. По периметру трактора и орудия установлен шлангоукладчик, состоящий из системы труб, позволяющей укладывать поливочный шланг в щель. Масса агрегата – 800 кг, глубина прорезаемой щели – 0,4 м, ширина щели – 0,12 м, рабочая скорость – 0,27 м/с, скорость резания – 3,88 м/с [6].

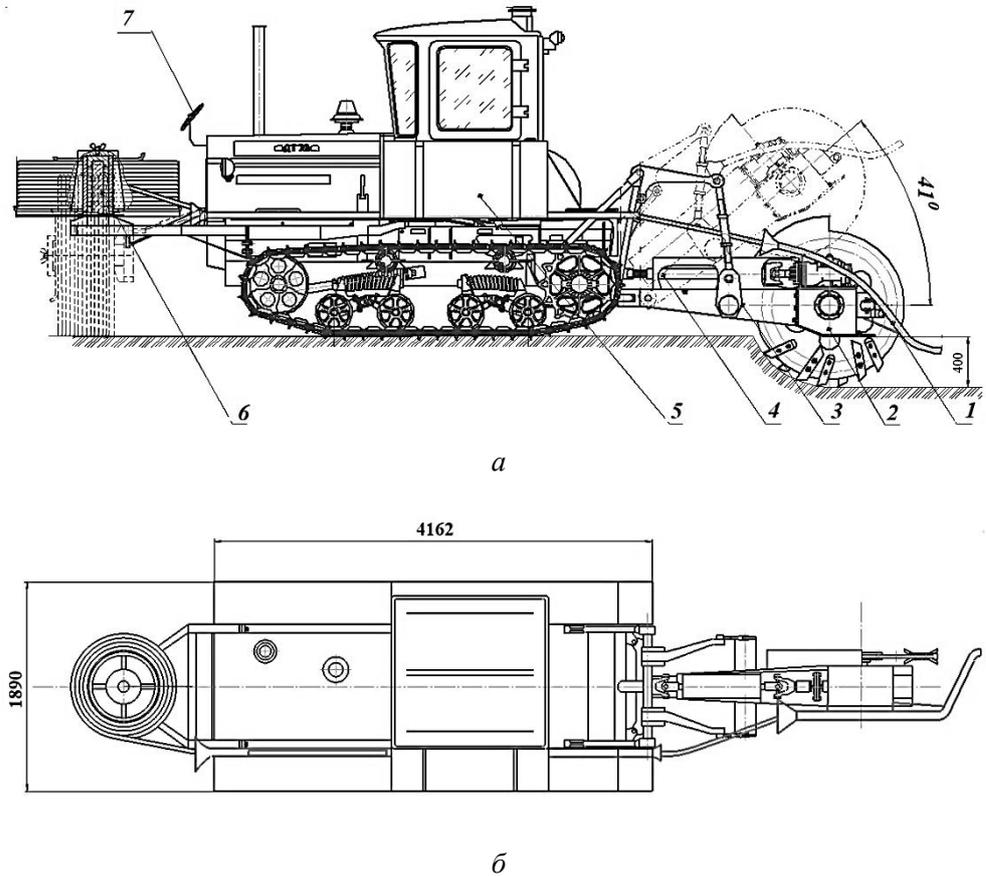


Рис. 1. Агрегат для прокладки шлангов подкорневого полива саженцев лесных культур: *а* – вид сбоку, *б* – вид сверху; 1 – шлангоукладчик, 2 – редуктор с фрезой, 3 – рама орудия, 4 – кардан, 5 – трактор ДТ-75 МХ, 6 – гидроуправляемая шланговая катушка, 7 – зеркало обзора катушки

Орудие работает следующим образом:

агрегат подъезжает к месту посадки, включается привод рабочего органа и в грунте прорезается щель протяженностью 4...5 м:

после прорезания щели агрегат останавливается, оператор протягивает шланг по системе шлангоукладчика, затем (в зависимости от направления движения агрегата) или устанавливает в шланг заглушку и закрепляет его удерживающим пальцем на дне щели, или прикрепляет к шлангу головку для соединения с рукавом прицепа-резервуара и закрепляет шланг на выходе из щели при помощи хомута;

агрегат продолжает движение до конца гона с прорезанием щели, размоткой и укладкой в нее шланга;

в конце гона в шланг вставляют (в зависимости от направления движения) или заглушку, или соединительную головку;

по окончании гона трактор переезжает на следующий гон, оператор производит смену шланговой катушки и повторяет операции;

после прорезания полос оператор подает воду в поливочные шланги и на смоченных местах высаживает лесные культуры, засыпает щели;

в намеченных заранее точках, между прорезанными полосами, устанавливается прицеп-резервуар, который при помощи раздаточных рукавов соединяется с поливочными шлангами для осуществления полива;

вода в прицепе-резервуаре пополняется из автомобиля-водовоза.

По предлагаемой технологии за сезон может быть обработано 1593 га.

Результаты исследования и их обсуждение

Рабочая скорость перемещения орудия в расчетах принята по аналогии с существующим орудием МДМ конструкции СибНИИГиМ, диаметр фрезы по концам ножей (1100 мм) выбран из расчета достижения требуемой глубины щели 400 мм. Конструкция фрезы представлена на рис. 2, ее резцов – на рис. 3, а и б.

На стадии проектирования аналитическим методом определены оптимальные конструктивные и геометрические параметры рабочего органа. Расчеты произведены по алгоритму, изложенному в работах [7, 8]. Для оптимизации параметров использовалась разработанная с участием автора компьютерная программа *Freza_n*, предназначенная для анализа затрат энергии на прокладку щелей в минеральных и торфяных грунтах по элементам технологического процесса на основании математической модели технологического

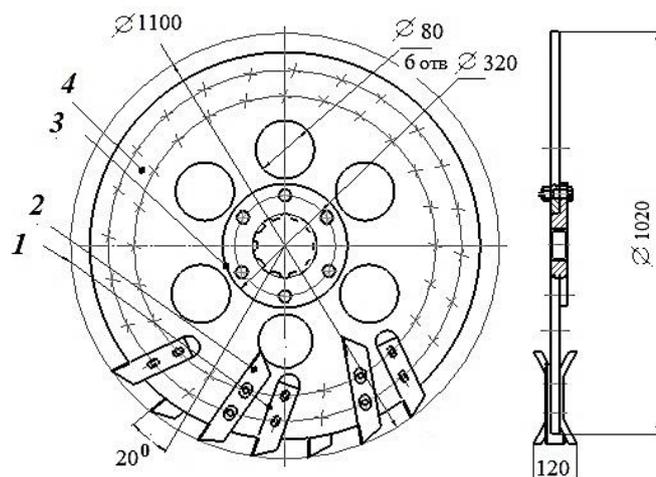


Рис. 2. Фреза агрегата для прокладки шлангов подкорового полива: 1 – резец прямой, 2 – резец отогнутый, 3 – ступица, 4 – диск фрезы

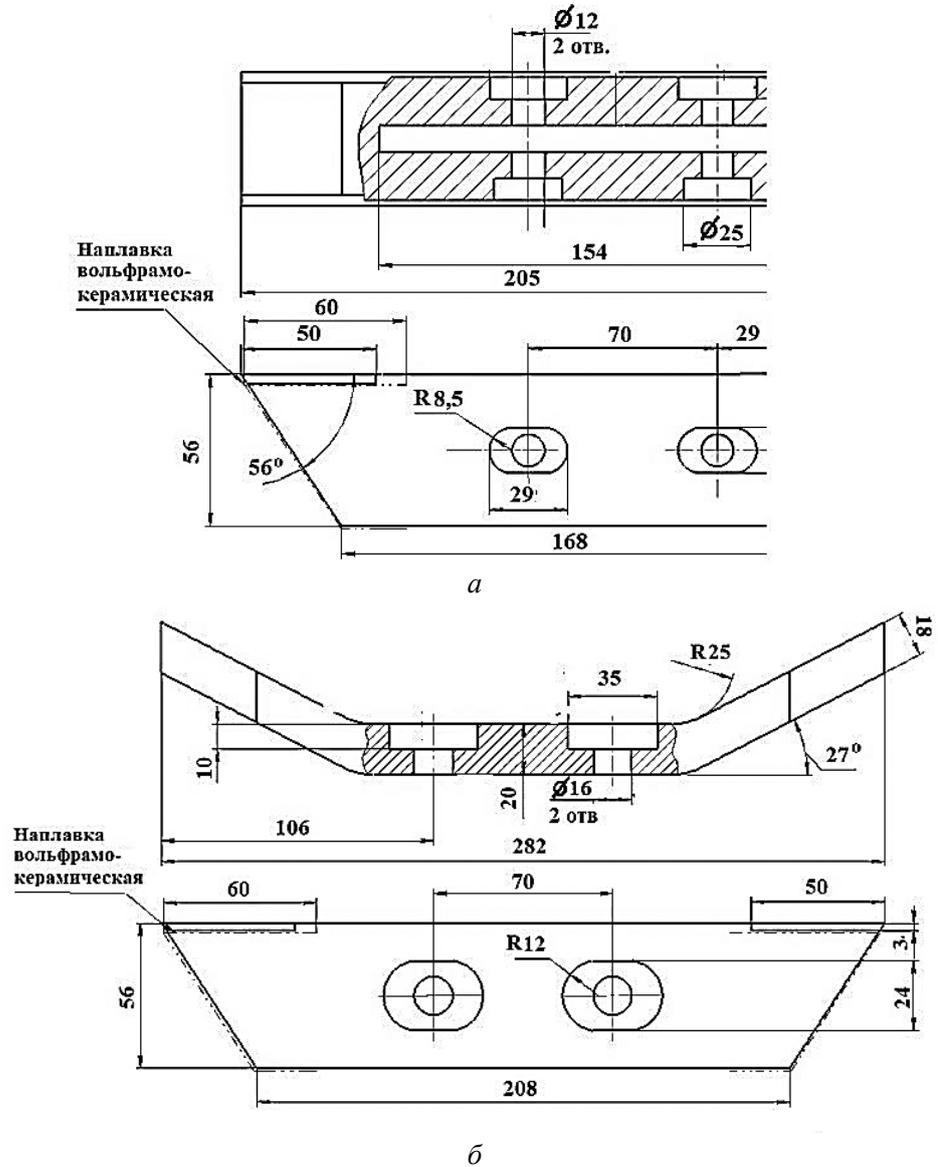


Рис. 3. Резцы фрезы: а – прямой, б – отогнутый

процесса резания почв с подстилкой и живым напочвенным покровом дисковыми фрезами при заданных в качестве констант свойствах почв; программа производит определение оптимальных технологических режимов резания, конструктивных и геометрических параметров рабочих органов щелерезных агрегатов с активными рабочими органами за счет варьирования скоростями резания и движения, углами установки резцов и резания, а также конструктивными параметрами рабочих органов. Объем программы – 270 Кбайт [9].

Исходные сведения о проектируемом орудии и физико-механические свойства разрабатываемого грунта для ввода в программу приведены в таблице.

Исходные данные проектируемого орудия и физико-механические свойства разрабатываемого грунта

Параметры	Значение
Диаметр фрезы по концам режущих ножей, м	1,1±0,02
Глубина фрезерования, м	0,4
Ширина щели, м	0,12
Число резцов (групп резцов), шт.	24 (3 по 8)
Угол резания, ...°	40..90
Пнистость разрабатываемой среды (грунта)	0,05
Ширина лезвия резца, м	0,03
Коэффициент сопротивления вязкопластическому течению грунта	7 800
КПД отбрасывания разрабатываемого материала	0,85
КПД трансмиссии	0,9
Показатели физико-механических свойств грунта:	
угол внешнего трения, ...°	24,5°
коэффициент внешнего трения	0,45
угол внутреннего трения, ...°	29,0°
коэффициент внутреннего трения	0,56
удельный вес грунта, Н/м ³	17 850
предельное напряжение сдвига, Па	42 000

Согласно результатам расчетов оптимальный угол резания составил 70 °, рабочая поступательная скорость – 0,27 м/с, скорость резания – 3,88 м/с. Результаты расчетов баланса затрат мощности (N , Вт) на прокладку полос в почвах по элементам технологического процесса в программе Freza_n: резание – 2487,7; экскавация – 16730; прорезание древесных включений – 1344,28; отбрасывание продуктов резания – 124,2; трение в трансмиссии привода фрезы – 2068,62; очистка берм – 302,4; передвижение трактора – 2443; протаскивание орудия – 1722. Суммарные затраты мощности на выполнение технологического процесса – 27221,9 Вт.

Затраты мощности на передвижение агрегата и потери мощности в элементах его конструкции рассчитываются по методикам [2, 6] и в данной статье не приводятся.

С учетом баланса затрат мощности коэффициент загрузки двигателя тракторного агрегата при данных скоростных режимах резания и движения составит 0,7, что свидетельствует о соответствии разрабатываемого орудия базовому трактору по тяговому сопротивлению и потребляемой мощности на вал отбора мощности (ВОМ).

Ввиду того, что в базовом тракторе ДТ-75 МХ скорость вращения ВОМ составляет 540 мин⁻¹, имеется возможность отказаться от изготовления специального редуктора привода фрезы орудия и использовать стандартный.

По передаточному числу, исходя из требуемой скорости резания (3,88 м/с) дисковой фрезы, подходит редуктор заднего моста автомобиля КамАЗ 5320, дополненный цилиндрической передачей к масляному насосу для смазки конической пары зубчатых колес ввиду измененного направления вращения (рис. 4).

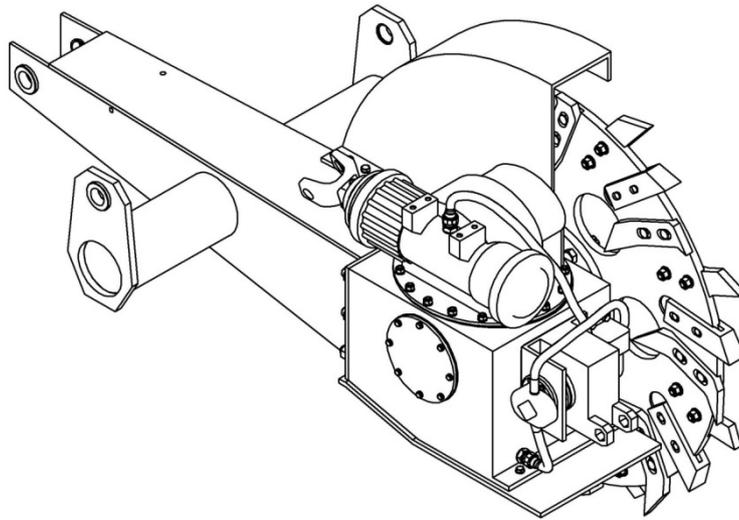


Рис. 4. Орудие для прорезания щелей в грунте под посадку полевых защитных лесных полос

Заключение

Применение предлагаемого тракторного агрегата для создания полевых защитных лесных полос на опустыненных территориях позволяет снизить трудоемкость работ, повысить приживаемость лесных культур по сравнению с применяемыми в настоящее время технологиями. Наиболее это ощутимо, когда работы проходят на больших площадях.

Разработанная нами технология имеет следующие преимущества перед аналогами:

нарезка щелей и прокладка поливочных шлангов осуществляется за одну операцию;

сводится к минимуму ручной труд;

исключается труд, связанный с переноской и подъемом тяжестей;

сокращаются сроки проведения работ;

повышается производительность труда;

снижаются затраты материалов и энергии;

исключаются строительные-монтажные работы.

Особенности предлагаемых технологии и оборудования:

удобство монтажа щелерезного орудия на отечественные трактора;

возможность подачи растворов удобрений непосредственно к корням деревьев;

возможность использования оборудования на удаленных участках.

Применение разработанного нами оборудования для посадки и выращивания лесных полос на вододефицитных территориях позволяет обеспечить использование ранее пустынных земель в сельском и лесном хозяйстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бодров В.А.* Лесная мелиорация: учеб. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1952. 270 с.
2. *Герасимов М.И., Кухар И.В.* Машины и оборудование природообустройства и защиты окружающей среды: метод. указания по курсовому проектированию для студентов специальностей 17.11.00, 32.08.00. Красноярск: СГТУ, 1999. 48 с.
3. *Каргов В.А.* Лесные полосы и увлажнение полей. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 120 с.
4. *Костяков А.Н.* Основы мелиораций. 6-е изд. М.: Сельхозгиз, 1960. 621 с.
5. *Орловский С.Н.* Определение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов: моногр. Красноярск: КрасГАУ, 2011. 376 с.
6. *Орловский С.Н.* Орудие для посадки лесных полос на опустыненных территориях // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: сб. ст. Всерос. науч.-практ. конф., 27-28 нояб. 2013 г. Красноярск: СибГТУ, 2013. С. 203–206.
7. *Орловский С.Н.* Обоснование технологии применения и компоновки тракторного лесопожарного грунтомета // Лесн. журн. 2014. № 3. С. 79–85. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. *Орловский С.Н., Карнаухов А.И.* Теоретические предпосылки к обоснованию параметров и режимов работы роторных рабочих органов // Лесн. журн. 2012. № 4. С. 70–76. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2007610363, заявка № 2006613951. Расчет энергоемкости резания лесных почв с подстилкой торцовыми фрезами и затрат мощности на резание и выполнение технологического процесса (Fresa_n) / С.Н. Орловский, С.В. Комиссаров, А.И. Карнаухов. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 19.01.2007.
10. *Payero J.O., Yonts C.D., Irmak S., Tarkalson D.* Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation // University of Nebraska-Lincoln Extension Publication Ec776. Lincoln, USA: University of Nebraska-Lincoln Publ., 2005. Pp. 1–8.

Поступила 02.05.17

UDC 630*232.427

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.65

Technology and Structural Configuration of a Tractor Unit for Forest Strip Planting in Desertified Territories

S.N. Orlovskiy, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Krasnoyarsk State Agrarian University, pr. Mira, 90, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: orlovskiysergey@mail.ru

The existing technologies of forest planting and irrigation in arid regions in Russia do not provide satisfactory seedling survival ability. Surface dripping watering of forest plantations in forest strips is usually conducted by means of a hose from a container with water. Water consumption per plant is 20...30 liters, 90 % of which are dispersed in soil or evaporate. The goal of research is to substantiate the structural and geometric parameters, operation modes of a disco-milling operating device of a unit for simultaneous laying of forest planting trenches and a garden hose and planting sites mapping, as well as a layout diagram of a tractor unit, regimes of mineral soil cutting, structural and geometric parameters of operative parts. The research method includes optimization of the unit parameters and its operating device by calculating the power expenditure for each technological process stage. The research results are specific values of the cutting edge angles and tool setting of a side mill, cutting and traversing speed, power balance and unit capacity. The scope is the forest strips planting in desertified territories suffering from water deficit to irrigate forest plantations during the first 5-6 years after planting. The obtained results enable us to substantiate the structural configuration of a tractor unit with a working member in the form of a side milling cutter and a hose chain, to determine the structural and geometric dimensions of the working element, as well as the power expenditure for the stages of the technological process. This will increase labor productivity, reduce soil disturbance and the costs of forest strips planting.

Keywords: subsurface irrigation, technology of planting and watering of seedlings, hose laying, unit arrangement and configuration.

REFERENCES

1. Bodrov V.A. *Lesnaya melioratsiya* [Forest Reclamation]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1952. 270 p. (In Russ.)
2. Gerasimov M.I., Kukhar I.V. *Mashiny i oborudovanie prirodoobustroystva i zashchity okruzhayushchey sredy* [Machinery and Equipment for Environmental Management and Environmental Protection]. Krasnoyarsk, Gagarin State Technical University of Saratov Publ., 1999. 48 p. (In Russ.)
3. Kargov V.A. *Lesnye polosy i uvlazhnenie poley* [Forest Strips and Moistening of Fields]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 120 p. (In Russ.)

For citation: Orlovskiy S.N. Technology and Structural Configuration of a Tractor Unit for Forest Strip Planting in Desertified Territories. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 65–75. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.65

4. Kostyakov A.N. *Osnovy melioratsiy* [Fundamentals of Reclamation]. Moscow, Sel'khozgiz Publ., 1960. 621 p. (In Russ.)
5. Orlovskiy S.N. *Opreделение энергетических и динамических параметров тракторов, режимов резания активных рабочих органов машинно-тракторных агрегатов* [Determination of Energy and Dynamic Parameters of Tractors, Modes of Cutting of Active Operating Devices of Machine and Tractor Units]. Krasnoyarsk, Krasnoyarsk State Agrarian University Publ., 2011. 376 p. (In Russ.)
6. Orlovskiy S.N. *Orudie dlya posadki lesnykh polos na opustynennykh territoriyakh* [A Tool for Forest Strips Planting in Desertified Territories]. *Tekhnologii i oborudovanie sadovo-parkovogo i landshaftnogo stroitel'stva: sb. st. Vseros. nauch.-prakt. konf.* [Technology and Equipment for Landscape Gardening and Landscape Construction: Proc. All-Russ. Sci. Practical Conf., 27–28 November 2013]. Krasnoyarsk, Siberian State Technological University Publ., 2013, pp. 203–206. (In Russ.)
7. Orlovskiy S.N. *Obosnovanie tekhnologii primeneniya i komponovki traktornogo lesopozharnogo gruntometa* [Technology and Structural Configuration of a Fire-Fighting Soil-Thrower]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2014, no. 3, pp. 79–85.
8. Orlovskiy S.N., Karnaukhov A.I. *Teoreticheskie predposylki k obosnovaniyu parametrov i rezhimov raboty rotornykh rabochikh organov* [Theoretical Background of Rotary Tools Parameters and Operating Modes]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 4, pp. 70–76.
9. Orlovskiy S.N., Komissarov S.V., Karnaukhov A.I. *Raschet energoemkosti rezaniya lesnykh pochv s podstilkoy tortsovymi frezami i zatrat moshchnosti na rezanie i vypolnenie tekhnologicheskogo protsessa (Fresa_n)* [Calculation of Energy Intensity of Cutting of Forest Soils with Litter by End Mills and the Cost of Power to Cut and Perform the Technological Process (Fresa_n)]. Certificate of registration of a computer program, no. 2007610363, 2007.
10. Payero J.O., Yonts C.D., Irmak S., Tarkalson D. *Advantages and Disadvantages of Subsurface Drip Irrigation. University of Nebraska-Lincoln Extension Publication Ec776*. Lincoln, USA, University of Nebraska-Lincoln Publ., 2005, pp. 1–8.

Received on May 02, 2017

УДК 634.0.31:674.093
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.76

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ЛЕСОПИЛЕНИЯ В СТРУКТУРУ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

А.А. Тамби, д-р техн. наук, доц.

И.В. Григорьев, д-р техн. наук, проф.

О.А. Куницкая, д-р техн. наук, доц.

Якутская государственная сельскохозяйственная академия, ш. Сергеляхское, 3-й км,
д. 3, г. Якутск, Россия, 677007; e-mail: a_tambi@mail.ru, silver73@inbox.ru,
ola.ola07@mail.ru

В настоящее время в России преобладает сортиментная технология заготовки древесины, на которую приходится более 70 % всего объема. Во многом это обусловлено запретом на выезд автолесовозов с хлыстами на дороги общего пользования. Лесозаготовительным предприятиям экономически не выгодно без поддержки государства строить специальные лесные дороги, поэтому объемы вывозки древесины в хлыстах существенно упали. Кроме того, в связи с истощением доступных лесосырьевых баз плечо вывозки заготовленной древесины часто превышает 250 км. Это увеличивает транспортную составляющую себестоимости заготовленной древесины и снижает экономическую эффективность работы лесозаготовительных предприятий. Особенно не выгодно становится перевозить грузы с малым коэффициентом полндревесности как при транспортировке, так и в пересчете на будущую готовую продукцию или полуфабрикаты, т. е. за вычетом объемов отходов, которые впоследствии будут образовываться при переработке древесины. На основании исследований, выполненных методом укрупненного анализа статей затрат на заготовку круглых лесоматериалов, определяющих стоимость пиловочной древесины, фанерных бревен и балансов, установлено: лесозаготовительное производство в существующих условиях может эффективно реализовывать деловую древесину при расстоянии вывозки, не превышающем 65 км; при расстоянии вывозки 250 км доля затрат на транспортные операции в себестоимости круглых лесоматериалов составляет 47 %, что является определяющим фактором в оценке рентабельности инвестиционных проектов при организации предприятий по заготовке и переработке древесины; увеличение объемов заготовки древесины для обеспечения сырьем современных лесопильных заводов при отсутствии строительства новых предприятий глубокой переработки древесины требует создания промежуточных специализированных лесных терминалов, осуществляющих выработку пиломатериалов и заготовок из балансовой древесины.

Ключевые слова: низкотоварная древесина, лесопильное производство, лесные терминалы, экономическая эффективность лесозаготовок.

Для цитирования: Тамби А.А., Григорьев И.В., Куницкая О.А. Обоснование необходимости внедрения процессов промышленного лесопиления в структуру лесозаготовительной отрасли // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 76–88. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.76

Введение

Развитие современных технологий обработки древесины приводит к появлению лесопильных линий большой единичной мощности, способных перерабатывать до 1,5 млн м³ круглых лесоматериалов в год. Теоретически на технологическом уровне можно увеличивать скорость подачи, обеспечивая тем самым еще большую производительность, но на практике повышение производственной мощности таких крупных предприятий упирается в дефицит пиловочной древесины, стоимость которой уже нельзя точно оценивать на основании динамики изменения ее цены на биржах сырья.

При небольших объемах переработки возможна закупка всего объема или части круглых лесоматериалов по фиксированной цене, включающей затраты лесозаготовителя на заготовку и переработку низкотоварной древесины, что позволяет при оценке рисков и бизнес-планировании оперировать лишь конечной ценой лесоматериалов.

Средние и крупные предприятия не могут идти по пути 100 %-й закупки древесины, поскольку при этом значительно увеличивается стоимость круглых лесоматериалов, в которую включается маржа сторонних лесозаготовителей и транспортные расходы, различающиеся в зависимости от удаленности каждого поставщика от лесопильного предприятия. При объеме обработки свыше 80...100 тыс. м³ круглых лесоматериалов в год эти экономические потери уже перекрывают преимущества закупки круглых лесоматериалов на свободном рынке, что вынуждает лесопильные предприятия постепенно объединяться в холдинги – комплексные лесопромышленные предприятия. В идеальном случае, при больших объемах производства, структура холдинга выстраивается на базе целлюлозно-бумажного предприятия (ЦБП), позволяющего перерабатывать балансовую древесину и технологическую щепу, формируемую в процессе агрегатного лесопиления или при переработке кусковых отходов от распиловки предварительно окоренных пиловочных бревен. В состав таких комплексных лесопромышленных предприятий входят лесозаготовительные участки и лесопильные производства, а также отдельные участки по переработке деловой древесины, которая по своим породным и размерно-качественным характеристикам не может быть эффективно использована для производства пилопродукции (например, производство древесностружечных и древесноволокнистых плит, древесно-полимерных композитов, топливных гранул и т. д.).

Расхождения в оценке стоимости сырья в условиях переработки больших объемов древесины связаны с необходимостью прорабатывать пути использования низкотоварной древесины. При больших объемах переработки пиловочника, как правило, такая древесина не может быть использована в полном объеме, поскольку стоимость ее транспортировки, даже без учета затрат на валку, трелевку и лесовосстановление, превышает ее продажную стоимость [7].

В таких условиях необходимо понимание, что переработка 500 тыс. м³ и более круглых лесоматериалов в год ведет к увеличению операционных потерь на заготовку всего объема древесины, а потери от реализации низкотоварного сырья будут перекладываться на стоимость деловых круглых лесоматериалов.

Объекты и методы исследования

Объектами исследования являются лесосырьевая база крупного лесопильного предприятия, экономические аспекты ее освоения, а также направления использования балансовой и низкотоварной древесины.

Исследования выполнены методом укрупненного анализа статей затрат на заготовку круглых лесоматериалов, определяющих стоимость пиловочной древесины и фанерных бревен.

Результаты исследования и их обсуждение

Для обеспечения сырьем лесопильного предприятия производственной мощностью 1 млн м³ круглых лесоматериалов в год при среднестатистическом выходе пиловочной древесины 35 % требуется наличие арендной базы хвойной древесины, обеспечивающей расчетную лесосеку в объеме не менее 2,85 млн м³ круглых лесоматериалов ежегодно. При среднем запасе древесины на 1 га около 150 м³ необходимая площадь лесосек – 19 тыс. га в год.

С учетом горизонта планирования работы лесопильного предприятия на протяжении 20 лет и при условии отвода лесосеки по спелости объем арендной базы – не менее 380 тыс. га.

Исходя из данных, представленных на официальном сайте Российской Федерации (РФ) для размещения информации о проведении торгов, при аренде лесных участков площадью от 100 тыс. га ежемесячный платеж за 1 га, по итогам состоявшихся аукционов, составляет в среднем 7,9 р. и зависит от региона и состава лесов. Таким образом, средний ежегодный платеж за аренду лесного участка площадью 380 тыс. га для укрупненных расчетов может быть принят в размере 36 млн р., или 3 млн р. ежемесячно. В таких условиях 1 м³ древесины «на корню» обходится лесопользователю примерно в 12,6 р.

Кроме арендной платы за лесопользование, в соответствии с постановлением Правительства РФ «О коэффициентах к ставкам платы за единицу объема лесных ресурсов и ставкам платы за единицу площади лесного участка, находящегося в федеральной собственности» от 17.09.2014 № 947 необходимо уплатить стоимость древесины, которая зависит от расстояния вывозки, породы, вида и размера сортиментов. Указанные ставки для 2017 г. применяются с повышающим коэффициентом 1,49.

Например, для условий Архангельской области и состава лесных насаждений 6Е2С1Б1Ос при заданных условиях заготовки можно получить (данные указаны на основании экспертной оценки): 1 млн м³ пиловочной древесины; 58 тыс. м³ фанерных бревен; 1,222 млн м³ балансовой древесины хвойных и лиственных пород; 570 тыс. м³ дровяной древесины.

При плече вывозки более 100 км и принятии для предварительных расчетов всей древесины за среднемерную плату за единицу объема лесных ресурсов составит около 67,9 млн р. в год, что повысит стоимость обезличенного 1 м³ древесины еще на 23,8 р. Таким образом, еще не начав работать, лесозаготовительное предприятие должно будет уплатить в бюджет 103,9 млн р., что определит совокупную плату за древесину на корню в размере 36,4 р./м³.

Затраты на лесосечные работы в основном обуславливаются видом используемой техники, почвенно-грунтовыми условиями, запасом древесины, средним объемом хлыста, видом рубки и расстоянием трелевки.

Наиболее распространенной на территории РФ технологией лесосечных работ является сортиментная, что определяется сложностью транспортировки хлыстов на большие расстояния, а также различным расположением потребителей круглых лесоматериалов разного назначения относительно расположения лесозаготовительного предприятия. При использовании ставших уже традиционными на крупных лесозаготовительных предприятиях комплексов на базе харвестера и форвардера и среднем расстоянии трелевки 250 м средняя себестоимость валки, обрезки сучьев, раскряжевки и трелевки древесины до погрузочной площадки при сплошных рубках составит около 260 р./м³.

Очистка лесосеки от порубочных остатков выполняется в соответствии с технологической картой на проведение лесозаготовительных работ. Стоимость очистки может достигать 4 тыс. р./га, что при запасе древесины 150 м³/га повышает стоимость обезличенного 1 м³ древесины еще на 26,6 р.

Кроме того, необходимо учесть стоимость подготовительных и вспомогательных работ, осуществляемых перед началом и в процессе проведения лесосечных работ. Доля последних составляет до 40 % всех расходов [4], или до 125...130 р./м³ в ценах 2016 г.

Суммируя перечисленные затраты, определяем среднюю стоимость 1 м³ обезличенных круглых лесоматериалов, уложенных в штабели на верхнем складе, – около 440...450 р.

С учетом потерь древесины при хранении и неучтенных затрат себестоимость круглых лесоматериалов на погрузочном пункте увеличивается на 15...20 % и составит около 530 р./м³, что на первый взгляд, при сравнении с рыночной стоимостью круглых лесоматериалов, указывает на высокую рентабельность лесозаготовок, но это не всегда справедливо.

При освоении лесных массивов необходимо учитывать отсутствие (полное или частичное) лесных дорог, которые необходимо строить лесопользователю, а также затраты на транспортировку круглых лесоматериалов. Для освоения ресурсной базы площадью 380 тыс. га ориентировочно надо построить не менее 400 км магистральных дорог, около 1100 км лесовозных веток и 900 км лесовозных усов. При средней стоимости 1 км магистральной дороги 1,7 млн р., лесовозной ветки 0,7 млн р. и лесовозного уса 0,3 млн р. совокупная стоимость транспортной сети составит порядка 1830 млн р. [10].

С учетом затрат на содержание, укрупненно принимаемых для магистральных дорог в размере 5 % в год, при равномерном вводе дорог в пользование полная стоимость организации дорожной сети – 2200 млн р., что соответствует добавочной стоимости в размере около 40 р. на 1 м³ круглых лесоматериалов.

Основная доля затрат в производстве круглых лесоматериалов приходится на их доставку до конечного потребителя. При среднем плече вывозки 250 км и средних затратах около 3,5 р. м³/км ее стоимость в среднем составляет 875 р./м³, что превышает все остальные затраты на совокупные платежи и заготовку древесины.

Соотношение затрат на заготовку и вывозку древесины приведено на рис. 1.

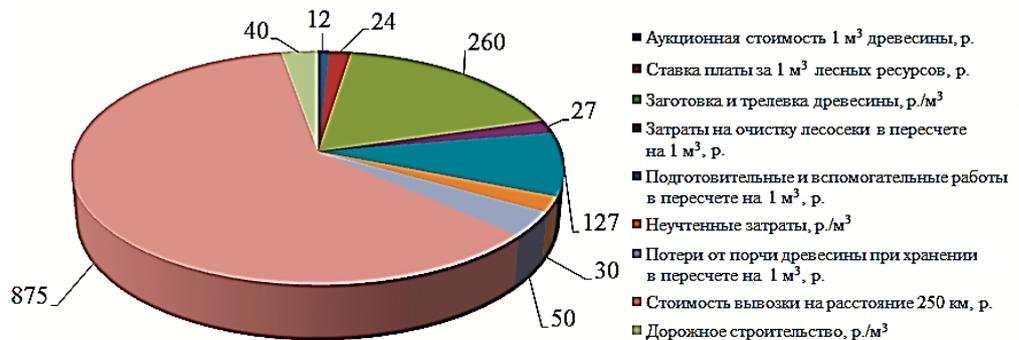


Рис. 1. Структура себестоимости круглых лесоматериалов при аренде лесных массивов (обобщенная себестоимость 1 м³ обезличенных круглых лесоматериалов – 1445 р.)

Приведенные в табл. 1 данные по видам, объемам и стоимости сортиментов, которые могут быть получены при разработке рассмотренной условной арендной базы, позволяют сделать вывод о том, что в сложившихся экономических условиях заготовка и вывозка балансовой и дровяной древесины при таком плече вывозки экономически нецелесообразны. Более того, из-за отсутствия строительства новых ЦБП и наличия малого количества плитных производств при организации новых лесозаготовительных и лесопильных предприятий затруднен сбыт балансовой древесины даже по столь низкой стоимости. Потери от заготовки указанных сортиментов покрываются увеличением стоимости круглых лесоматериалов, предназначенных для распиловки и строгания, что по цепочке приводит к росту стоимости конечной продукции из древесины.

Увеличение плеча вывозки и отсутствие новых рынков сбыта для технологической щепы и дровяной древесины в конечном итоге может привести к парадоксальной ситуации – к дефициту и высокой стоимости круглых лесоматериалов с одновременным оставлением в лесу от 20 до 62 % заготавливаемой древесины в виде измельченных порубочных остатков, щепы или золы после их сжигания.

Таблица 1

Укрупненный анализ себестоимости круглых лесоматериалов

Сортименты	Количество, тыс. м ³	Стоимость обезличенного 1 м ³ , р.		Среднерыночная стоимость сортимента без учета сорта, р./м ³	Полученная от продажи выручка, млн р.
		на лесосеке	с учетом вывозки		
Пиловочные бревна	1000			2720	1275,00
Фанерные бревна	58	570	1445	3325	109,04
Балансы	1222			800	-788,19
Дровяная древесина	570			400	-595,65
<i>Итого</i>					0,20

При средней себестоимости работы мульчера или самоходной рубильной машины 200 р./м³ и отсутствии затрат на вывозку древесины выручка предприятия при измельчении всего объема дровяной древесины, оставляемой на лесосеке (20 % от объема заготовки), увеличится до 156,95 млн р. (табл. 2).

Таблица 2

Анализ стоимости круглых лесоматериалов при измельчении дровяной древесины на лесосеке

Сортименты	Количество, тыс. м ³	Стоимость обезличенного 1 м ³ , р.		Среднерыночная стоимость сортимента без учета сорта, р./м ³	Полученная от продажи выручка, млн р.
		на лесосеке	с учетом вывозки		
Пиловочные бревна	1000	570	1445	2720	1275,00
Фанерные бревна	58	570	1445	3325	109,04
Балансы	1222	570	1445	800	-788,19
Дровяная древесина	570	770	–	–	-438,9
<i>Итого</i>					156,95

Еще хуже ситуация обстоит при субаренде лесных участков, когда помимо платежей в бюджет арендатор вынужден платить до 400 р. за 1 м³ заготавливаемой древесины первичному арендатору. Подобный вид переуступки лесных массивов наблюдается в ряде регионов РФ, и в этом случае лесозаготовителям приходится еще больше повышать стоимость круглых лесоматериалов с одновременным оставлением в лесу даже балансовой древесины (рис. 2, табл. 3).

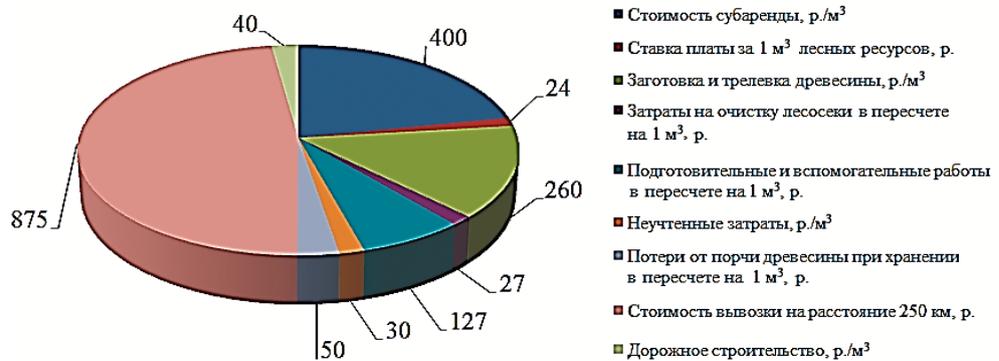


Рис. 2. Структура себестоимости круглых лесоматериалов при субаренде лесных массивов (обобщенная себестоимость 1 м³ обезличенных круглых лесоматериалов – 1832 р.)

Таблица 3

Анализ стоимости круглых лесоматериалов при субаренде и измельчении дровяной древесины на лесосеке

Сортименты	Количество, тыс. м ³	Стоимость обезличенного 1 м ³ , р.		Среднерыночная стоимость сорта без учета сорта, р./м ³	Полученная от продажи выручка, млн р.
		на лесосеке	с учетом вывозки		
Пиловочные бревна	1000	970	1445	3650	1818,00
Фанерные бревна	58	970	1445	3730	110,08
Балансы	1222	970	1445	800	-1261,10
Дровяная древесина	570	1170	–	–	-667,00
<i>Итого</i>					0,08

Анализируя данные табл. 1–3, можно сделать вывод, что для повышения эффективности лесопользования, снижения себестоимости круглых лесоматериалов и увеличения доли использования древесины с учетом текущих тенденций по укрупнению лесопильно-деревообрабатывающих предприятий необходимо создавать условия по переработке балансовой древесины в конечную продукцию [3, 5, 6, 8, 12, 13]. Фактически заготовка и реализация балансовой и дровяной древесины в текущих экономических условиях эффективны только при реализации прямых арендных отношений лесозаготовителей и государства и плече вывозки, не больше 65 и 48 км соответственно, поскольку при больших расстояниях перевозки ее себестоимость превышает возможную выручку от продажи [9, 14–20].

Одним из вариантов увеличения эффективности лесозаготовительного производства в составе комплексных лесопромышленных предприятий является организация промежуточных складов древесины, на которых должны осуществляться операции складирования и погрузки круглых лесоматериалов, обладающих высокой добавочной стоимостью, переработки круглых лесоматериалов низкого качества в пиломатериалы, их сушки до транспортной влажности, производства дров, получения топливных гранул, древесного угля, эфирных масел из древесной зелени [1, 2]. При больших объемах производства, а также с учетом возможностей современного лесопильного оборудования на таких складах может обеспечиваться распиловка балансовой древесины, имеющей диаметр от 10 до 24 см и длину от 3,0 до 6,5 м.

Подобные лесопильные цеха большой единичной мощности могут быть организованы на базе фрезерно-профилирующего оборудования, способного производить распиловку всех сортиментов с кривизной менее 2 %.

При доле хвойной балансовой древесины 25 % от общего объема балансов (300 тыс. м³ круглых лесоматериалов в год) под таким лесопильным участком понимается не традиционный нижний склад, позволяющий осуществлять раскряжевку, хранение, сортировку и переработку низкокачественной древесины, а полноценное современное лесопильно-деревообрабатывающее производство с рядом цехов по переработке низкотоварной древесины и древесной зелени на базе, например, мобильных установок [11].

Специфической особенностью лесопильного участка должно являться обеспечение возможности переработки лесоматериалов плавающими поставками как можно меньшей длины и диаметрами от 10 см, что вносит некоторые изменения в конструкцию оборудования. При этом сравнительно низкий объемный выход пиломатериалов, получаемый за счет невысокого качества входного сырья, может быть компенсирован его небольшой стоимостью, снижением затрат на транспортировку и необходимостью перерабатывать весь объем заготавливаемой древесины. Энергетическое обеспечение такого производства базируется на сжигании коры и топливной щепы с получением тепловой и электрической энергии.

На этом же промежуточном участке низкотоварная древесина и отходы лесопильного производства могут брикетироваться (или гранулироваться) и отправляться потребителям с большим коэффициентом полндревесности, что также позволит снизить транспортные расходы.

В табл. 4 приведены укрупненные экономические показатели работы лесозаготовительного предприятия при организации на промежуточном складе (на расстоянии 50 км от лесосырьевой базы) лесопильного предприятия производственной мощностью 300 тыс. м³ круглых лесоматериалов, работающего на базе фрезерно-профилирующего оборудования и оснащенного сушильными камерами для сушки пиломатериалов до транспортной влажности.

Таблица 4

Анализ стоимости круглых лесоматериалов при распиловке части балансовых сортиментов на собственном лесопильном предприятии при условии измельчения дровяной древесины на лесосеке

Сортименты	Количество, тыс. м ³	Стоимость обезличенного 1 м ³ , р.		Среднерыночная стоимость сортимента без учета сорта, р./м ³	Полученная от продажи выручка, млн р.
		на лесосеке	с учетом вывозки		
Пиловочные бревна	1000	570	1445	2720	1275,00
Фанерные бревна	58	570	1445	3325	109,04
Балансы для распиловки	300	570	745	1500	226,50
Пиломатериалы (на лесном терминале)	100	6300	7000	7500	50,00
Балансы	922	570	1445	800	-594,70
Дровяная древесина	570	770	–	–	-438,90
<i>Итого</i>					627,00

В этих условиях (табл. 4) лесозаготовительное производство самостоятельно формирует себе потребителя для балансовой древесины, увеличивая собственную выручку на 226 млн р.

При объемном выходе пиломатериалов даже на уровне 30 % из указанного объема древесины формируется порядка 100 тыс. м³ пиломатериалов и 140 тыс. м³ технологической щепы, которая может быть реализована потребителям или стать сырьем для получения топливных гранул. Выручка от их продажи не учитывалась в табл. 4, поскольку потребитель на данную продукцию может отсутствовать. При наличии потребителя технологической (или топливной) щепы, а также топливных гранул и эфирных масел на экономически доступном расстоянии фактическая выручка предприятия может быть еще выше.

В случае развития худшего сценария, когда объемный выход пиломатериалов не превышает 30 %, их себестоимость с учетом амортизационных отчислений составляет порядка 6,3 тыс. р./м³, а с учетом транспортировки до нижнего склада – около 7,0 тыс. р./м³, создание подобного лесопильного предприятия считается эффективным.

При горизонте планирования работы комплексных лесопромышленных предприятий более 10 лет на таких лесных терминалах могут быть дополнительно размещены цеха по изготовлению строганных погонажных изделий, мебельных заготовок из древесины лиственных пород, что также повысит эффективность лесопользования.

Выводы

1. В существующих рыночных условиях лесозаготовительное производство может эффективно реализовывать все виды деловой древесины при расстоянии вывозки, не превышающем 65 км.

2. При среднем расстоянии вывозки древесины 250 км доля затрат в себестоимости круглых лесоматериалов на транспортные операции составляет 47 % и является определяющим фактором при оценке рентабельности инвестиционных проектов создания предприятий по заготовке и переработке древесины.

3. Увеличение объемов заготовки древесины для обеспечения сырьем современных лесопильных предприятий при отсутствии строительства новых ЦБП требует создания промежуточных лесных терминалов – специализированных лесопильных предприятий, обеспечивающих выработку пиломатериалов и заготовок из балансовой древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Эффективность лесопользования в России // Энергия: экономика, техника, экология. 2016. № 5. С. 24–30.
2. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Глуховский В.М. Перспективные направления развития технологических процессов лесосечных работ // Лесн. и деревообраб. пром-сть: тр. БГТУ. 2016. № 2(184). С. 109–116.
3. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И., Куницкая О.А. Обоснование методики оценки экологической эффективности лесопользования // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. 2012. № 6. С. 72–77.
4. Григорьев И.В., Тихонов И.И., Куницкая О.А. Технология и машины лесосечных работ: учеб. пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 132 с.
5. Калитеевский Р.Е., Артеменков А.М. Структурно-динамический анализ профессионального поля лесопиления // Лесн. журн. 2013. № 1(331). С. 88–101. (Изв. высш. учеб. заведений).
6. Калитеевский Р.Е., Артеменков А.М., Тамби А.А., Гаврюков А.В. Определение производственной мощности лесопильных предприятий при проектировании // Лесн. журн. 2008. № 4. С. 93–98. (Изв. высш. учеб. заведений).
7. Куницкая О.А. Обоснование направлений диверсификации обработки низкотоварной древесины на комплексных лесопромышленных предприятиях с использованием инновационных технологий. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 250 с.
8. Куницкая О.А. Сквозные процессы лесозаготовительного производства для лесопромышленных холдингов, включающих мачтопропиточные заводы // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2013. № 1(93). С. 81–84.
9. Лапцевич М. Заготавливать топливную древесину не выгодно // Лесн. индустрия. 2014. № 3(71). Режим доступа: http://www.lesindustry.ru/issues/li_n71/Zagotavlivat_torlivnuyu_drevesinu_ne_vigodno_829/ (дата обращения: 14.03.2017).
10. Лапцевич М. Строительство лесных дорог // Лесн. индустрия. 2014. № 1-2(69–70). Режим доступа: http://www.lesindustry.ru/issues/li_n69-70/Stroitelstvo_lesnih_dorog_799/ (дата обращения: 14.03.2017).
11. Пискунов М.А. Системы машин и себестоимость получения топливной щепы из лесосечных отходов: опыт зарубежных стран и его приложение для России // Вестн. Краснояр. гос. аграр. ун-та. 2013. № 8. С. 238–243.

12. Тамби А.А., Чубинский А.Н. Оценка соответствия плотности древесины требованиям к продукции деревообрабатывающих производств // Лесн. журн. 2016. № 3. С. 124–134. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. Шегельман И.Р. Формирование сквозных технологий лесопромышленных производств: научные и практические аспекты // Глобал. науч. потенциал. 2013. № 8. С. 119–122.
14. Gerasimov Yu., Sokolov A., Fjeld D. Improving Cut-to-length Operations Management in Russian Logging Companies Using a New Decision Support System // Baltic Forestry. 2013. Vol. 19, no. 1(36). Pp. 89–105.
15. Intensification of Forest Management and Improvement of Wood Harvesting in Northwest Russia – Final Report of the Research Project / by ed. T. Karjalainen, T. Leinonen, Y. Gerasimov, M. Husso, S. Karvinen // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 110. 2009. 151 p.
16. Sokolov A.P., Syunev V.S. A Toolset of Decision Support Systems for Wood Harvesting and Forest Bioenergy Logistics in Russia // Renewable Energy Sources and Clean Technologies: Proc. 14th Intern. Multidisciplinary Sci. Geoconf. SGEM 2014. Albena, Bulgaria: STEF92 Technology, 2014. Vol. 1. Pp. 3–10.
17. State of Finland's Forest 2011. Forest Research Institute (Metla), Ministry of Agriculture and Forestry, 2011. 98 p.
18. State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe: Ministerial Conf. on the Protection of Forests in Europe. Oslo, Norway, 2011. 344 p.
19. Viitala E.-J., Uotila E. Optimaalinen tietiheys yksityismetsätalouden kannalta // Metsätieteen aikakauskirja. 1999. No. 2. Pp. 167–179.
20. Uotila E., Viitala E.-J. Tietiheys metsätalouden maalla // Metsätieteen aikakauskirja. 2000. No. 1. Pp. 19–33.

Поступила 14.04.17

UDC 634.0.31:674.093

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.76

The Rationale for Implementation of Industrial Sawmilling Processes in the Logging Industry

A.A. Tambi, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

I.V. Grigor'ev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

O.A. Kunitskaya, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

Yakut State Agricultural Academy, Sergelyakhskoe sh., Tretiy kilometr, 3, Yakutsk, 677007, Russian Federation; e-mail: a_tambi@mail.ru, silver73@inbox.ru, ola.ola07@mail.ru

At present, the CTL technology of wood harvesting predominates in the Russian Federation, accounting for more than 70 % of the total volume. This is largely due to the traffic ban for timber carriers with tree lengths on highways. Logging enterprises do not make profit when constructing special forest roads without state support; so the volume of timber hauling has significantly decreased. In addition, due to the depletion of available forest tracts, the hauling

For citation: Tambi A.A., Grigor'ev I.V., Kunitskaya O.A. The Rationale for Implementation of Industrial Sawmilling Processes in the Logging Industry. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 76–88. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.76

distance of harvested wood often exceeds 250 km. This increases the transport component of the cost of harvested wood and reduces the economic efficiency of logging enterprises activity. It is especially not advantageous to transport loads with a low stacking factor and in terms of future finished products or semi-finished products, i.e., after deduction of the amount of waste that will be subsequently produced when processing wood. The paper presents the studies performed by the high-level review method of the account costs for round-wood harvesting determining the value of sawlogs, veneer logs and pulpwood. The forest harvesting operation under existing conditions can effectively sell commercial timber with a hauling distance not exceeding 65 km; at a hauling distance of 250 km, the share of transportation costs in the cost of round timber is 47 %. This is a determining factor in assessing the profitability of investment projects of the lumber factories. An increase in the timber harvesting volume providing modern sawmills by raw materials in the absence of construction of new added-value wood processing enterprises requires the creation of intermediate specialized timber terminals that ensure the production of sawn timber and pulpwood blanks.

Keywords: semi-subsistence wood, sawmill plant, timber terminal, economic efficiency of logging.

REFERENCES

1. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I. Effektivnost' lesopol'zovaniya v Rossii [Efficiency of Forest Management in Russia]. *Energiya: ekonomika, tekhnika, ekologiya* [Energy], 2016, no. 5, pp. 24–30.
2. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Glukhovskiy V.M. Perspektivnyye napravleniya razvitiya tekhnologicheskikh protsessov lesosechnykh rabot [Perspective Directions of Development of Technological Processes of Logging Operations]. *Trudy BGTU. Ser. 2: Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Proceedings of BSTU. Ser. 2: Forest and Woodworking Industry], 2016, no. 2(184), pp. 109–116.
3. Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nikiforova A.I., Kunitskaya O.A. Obosnovanie metodiki otsenki ekologicheskoy effektivnosti lesopol'zovaniya [Substantiation of the Technique for the Forest Management Ecological Efficiency Estimation]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Bulletin of KrasGAU], 2012, no. 6, pp. 72–77.
4. Grigor'ev I.V., Tikhonov I.I., Kunitskaya O.A. *Tekhnologiya i mashiny lesosechnykh rabot: ucheb. posobie* [Technology and Machines for Logging Operations]. Saint Petersburg, Saint Petersburg State Forest Technical University Publ., 2013. 132 p. (In Russ.)
5. Kaliteevskiy R.E., Artemenkov A.M. Strukturno-dinamicheskiy analiz professional'nogo polya lesopileniya [Structural Dynamic Analysis of Professional Field of Sawmilling]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2013, no. 1(331), pp. 88–101.
6. Kaliteevskiy R.E., Artemenkov A.M., Tambi A.A., Gavryukov A.V. Opredelenie proizvodstvennoy moshchnosti lesopil'nykh predpriyatiy pri proektirovanii [Determination of Productive Capacity of Sawmills in Designing]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2008, no. 4, pp. 93–98.
7. Kunitskaya O.A. *Obosnovanie napravleniy diversifikatsii obrabotki nizkotovarnoy drevesiny na kompleksnykh lesopromyshlennykh predpriyatiyakh s ispol'zovaniem innovatsionnykh tekhnologiy* [Substantiation of Diversification Directions of Semi-Subsistence Wood Processing in Complex Timber Industry Enterprises Using Innovative Technologies]. Saint Petersburg, Saint Petersburg State Forest Technical University Publ., 2015. 250 p. (In Russ.)

8. Kunitskaya O.A. Skvoznye protsessy lesozagotovitel'nogo proizvodstva dlya lesopromyshlennykh kholdingov, vklyuchayushchikh machtopropitochnye zavody [Through Processes of Timber Production for Forest Holdings which Include Mastsoaking Plants]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2013, no. 1(93), pp. 81–85.

9. Laptsevich M. Zagotavlivat' toplivnyuyu drevesinu ne vygodno [Fuelwood Harvesting is not Profitable]. *Lesnaya industriya*, 2014, no. 3(71). Available at: http://www.lesindustry.ru/issues/li_n71/Zagotavlivat_toplivnyuyu_drevesinu_ne_vigodno_829 (accessed 14.03.2017).

10. Laptsevich M. Stroitel'stvo lesnykh dorog [Forest Road Construction]. *Lesnaya industriya*, 2014, no. 1-2(69-70). Available at: http://www.lesindustry.ru/issues/li_n69-70/Stroitelstvo_lesnih_dorog_799 (accessed 14.03.2017).

11. Piskunov M.A. Sistemy mashin i sebestoimost' polucheniya toplivnoy shchepy iz lesosechnykh otkhodov: opyt zarubezhnykh stran i ego prilozhenie dlya Rossii [Machine Systems and Cost Price of Fuel Forest Chip Production from Wood Cutting Wastes: Experience of Foreign Countries and Its Application for Russia]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [The Bulletin of KrasGAU], 2013, no. 8, pp. 238–243.

12. Tambi A.A., Chubinskiy A.N. Otsenka sootvetstviya plotnosti drevesiny trebovaniyam k produktsii derevoobrabatvayushchikh proizvodstv [Wood Density Evaluation of Compliance of the Woodworking Industries Production]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 3, pp. 124–134.

13. Shegel'man I.R. Formirovanie skvoznnykh tekhnologiy lesopromyshlennykh proizvodstv: nauchnye i prakticheskie aspekty [The Development of Cross-Cutting Technologies of Timber Industries: Scientific and Practical Issues]. *Global'nyy nauchnyy potentsial* [Global Scientific Potential], 2013, no. 8, pp. 119–122.

14. Gerasimov Yu., Sokolov A., Fjeld D. Improving Cut-to-length Operations Management in Russian Logging Companies Using a New Decision Support System. *Baltic Forestry*, 2013, vol. 19, no. 1(36), pp. 89–105.

15. Karjalainen T., Leinonen T., Gerasimov Y., Husso M., Karvinen S., eds. Intensification of Forest Management and Improvement of Wood Harvesting in Northwest Russia – Final Report of the Research Project. *Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 110*, 2009. 151 p.

16. Sokolov A.P., Syunev V.S. A Toolset of Decision Support Systems for Wood Harvesting and Forest Bioenergy Logistics in Russia. *Renewable Energy Sources and Clean Technologies: Proc. 14th Intern. Multidisciplinary Sci. Geoconf. SGEM 2014. Albena, Bulgaria. STEF92 Technology*, 2014, vol. 1, pp. 3–10.

17. State of Finland's Forest 2011. Forest Research Institute (Metla), Ministry of Agriculture and Forestry, 2011. 98 p.

18. State of Europe's Forests 2011. Status and Trends in Sustainable Forest Management in Europe. *Ministerial Conf. on the Protection of Forests in Europe*. Oslo, Norway, 2011. 344 p.

19. Viitala E.-J., Uotila E. Optimaalinen tietiheys yksityismetsatalouden kannalta. *Metsätieteen aikakauskirja*, 1999, no. 2, pp. 167–179.

20. Uotila E., Viitala E.-J. Tietiheys metsatalouden maalla. *Metsätieteen aikakauskirja*, 2000, no. 1, pp. 19–33.

Received on April 14, 2017



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ
И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.05:620.16

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.89

**ОСОБЕННОСТИ ИССЛЕДОВАНИЯ ИЗНАШИВАНИЯ
РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ
ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Е.А. Памфилов¹, д-р техн. наук, проф.

Е.В. Шевелева², канд. техн. наук, доц.

¹ Брянский государственный технический университет, бул. 50-летия Октября, д. 7, г. Брянск, Россия, 241035; e-mail: pamfilov@bgita.ru

² Брянский государственный инженерно-технологический университет, просп. Станке Димитрова, д. 3, г. Брянск, Россия, 241037; e-mail: elshev@km.ru

Технико-экономическая эффективность использования дереворежущих инструментов и качество выпускаемой с их применением продукции в значительной степени определяются совокупностью характеристик рабочих поверхностных слоев рассматриваемых инструментов, в том числе износостойкостью. При этом отмечается существенное разнообразие реализующихся механизмов протекания изнашивания как в части качественного характера их проявления (постепенное изнашивание образующих режущие кромки поверхностей, микровыкрашивание и сколы режущего лезвия), так и особенностей образования продуктов изнашивания. Изнашивание дереворежущих инструментов – результат совместного проявления механического, электроэрозионного, химического, электрохимического и других воздействий. Особенностью, дополнительно усугубляющей такую сложную картину поверхностного разрушения, является возможность возникновения эффекта синергизма механических и химических составляющих процесса изнашивания, когда их взаимное влияние увеличивает степень проявления каждого из наблюдаемых механизмов. При таком многоплановом эксплуатационном воздействии износостойкость инструментов во многом обусловлена физико-химическими свойствами материалов, применяемых для их изготовления, видом и режимами используемой упрочняющей обработки, а также характером внешних воздействий на них в процессе эксплуатации. В связи с этим для обеспечения должной износостойкости инструментов необходимо решать комплексные задачи совершенствования их конструкций, обоснованного выбора

Для цитирования: Памфилов Е.А., Шевелева Е.В. Особенности исследования изнашивания режущих инструментов для переработки древесных материалов // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 89–103. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.89

инструментальных материалов и способов их упрочняющей обработки. Важнейший аспект решения этих задач – экспериментальная проверка целесообразности принятых решений, для чего применительно к различным эксплуатационным условиям требуется разработать или выбрать методики износных испытаний, позволяющих получать достоверные результаты. При этом следует учитывать, что выбор методов исследования напрямую связан с характером рассматриваемых видов деревопереработки, механизмов изнашивания тех или иных дереворежущих инструментов. Должен приниматься во внимание тот факт, что указанные механизмы могут изменяться как в процессе единичного реза, так и по мере затупления рассматриваемых инструментов.

Ключевые слова: деревопереработка, инструмент, испытания, износостойкость, изнашивание, физико-химические свойства, синергизм, эксплуатационные параметры, достоверность, моделирование, эффективность.

Введение

Решение проблемы повышения работоспособности деревоперерабатывающих инструментов по показателям износостойкости и прогнозирование сроков их надежной работы связаны с необходимостью проведения комплекса экспериментальных исследований, постановка которых требует использования эффективной методологии и соответствующего ей испытательного оборудования. В процессе исследований обычно проводят лабораторные, натурные и производственные испытания [13].

Лабораторные испытания осуществляют преимущественно на специальных образцах, что позволяет выявить основные закономерности изнашивания инструментов. При натурных испытаниях уточняют пути повышения износостойкости инструментов применительно к их конструкциям и условиям эксплуатации. С помощью эксплуатационных испытаний устанавливают промышленную эффективность разработанных рекомендаций.

Проведение натурных и эксплуатационных испытаний связано со значительными трудностями, так как при их постановке сложно учесть все условия, в которых возможна эксплуатация каждого из рассматриваемых инструментов. Поэтому желательно увеличивать долю лабораторных испытаний как менее трудоемких и дорогостоящих.

Многофакторность влияния условий изнашивания на инструменты затрудняет установление доминирующих причин износа и усложняет разработку мероприятий по повышению их износостойкости. Поэтому целесообразно сначала теоретически выявить значимость факторов, определяющих работоспособность инструментов, и параметров, которые оказывают наибольшее влияние на сопротивляемость изнашиванию исследуемых объектов. При этом следует иметь в виду, что закономерности воздействия многих факторов на сопротивляемость изнашиванию зачастую проявляются неоднозначно [3].

Сложности проведения исследований также связаны с тем, что во многих случаях требуется дифференцированная оценка сопротивляемости изнашиванию отдельных локальных зон, в которых износ может протекать по различным механизмам.

В связи с этим методики испытаний необходимо разрабатывать так, чтобы иметь возможность воспроизводить основные виды изнашивания. Это можно осуществлять за счет отдельных испытаний на различных образцах или путем дифференцированной оценки результатов действия альтернативных механизмов изнашивания на одном образце, воспроизводящем рабочую поверхность инструмента.

Важным является решение задачи интенсификации изнашивания в процессе ускоренных испытаний, где получают результаты, увеличивая нагрузки, температуры, скорости и другие факторы. Ускорение получения экспериментальных данных при натуральных и отчасти эксплуатационных испытаниях можно обеспечить путем экстраполяции износа по времени или его аналогам (количеству обработанных деталей, пути резания и т. д.). Однако к результатам такого рода испытаний следует относиться с осторожностью, так как форсирование режимов может исказить представление о ведущих механизмах изнашивания и степени проявления каждого из них.

Одним из важнейших принципов подтверждения правильности выбора методики исследований является сохранение рядов износостойкости исследуемых инструментов при лабораторных, натуральных и эксплуатационных испытаниях.

В ходе экспериментальных исследований необходимо иметь в виду, что свойства поверхностных слоев образцов и показатели их износостойкости носят случайный характер и обладают изменчивостью при повторении эксперимента. Поэтому установленные показатели износостойкости дают оценку фактическим значениям с определенной степенью точности и надежности, что требует серьезной математической обработки их результатов.

Объекты и методы исследования

Исключительную важность при разработке методик исследований износостойкости инструментов для обработки древесины имеет увязка условий лабораторных исследований с конкретными эксплуатационными условиями. Это связано с тем, что различные группы древесных материалов различаются показателями физико-химических свойств и, соответственно, изнашивающим воздействием на инструменты [17].

Существенное влияние на характер изнашивания инструментов оказывают и скорости резания, и действие динамических нагрузок, и температурный режим обработки. Степень их влияния в значительной мере зависит от свойств инструментального материала и принятых упрочняющих технологий.

Предварительная оценка механизмов изнашивания может быть осуществлена на основании анализа характера разрушения рабочих поверхностей и режущих кромок инструментов.

Чаще всего такое разрушение носит либо постепенный характер, либо проявляется в виде микровыкрашивания [4, 12, 18]. В зависимости от условий эксплуатации, свойств инструментальных и обрабатываемых материалов, геометрии резцов и состояния их рабочих поверхностей соотношение постепенного износа и износа путем микровыкрашивания в величине износа инструментов может колебаться в широком диапазоне. При этом в начальный период работы изнашивание режущей кромки носит преимущественно характер микровыкрашивания, что связано с проявлением влияния микротрещин, имевшихся в прикромочной зоне перед началом работы, и обусловлено действием значительных напряжений от сил резания из-за малых размеров радиуса округления остро заточенного режущего лезвия.

После удаления дефектных микрообъемов изнашивание инструментов приобретает преимущественно постепенный характер. Однако при эксплуатации инструментов в условиях, приводящих к охрупчиванию инструментального материала (ударное нагружение, низкие температуры, действие активных сред и т. д.), износ в течение всего периода стойкости может протекать путем микровыкрашивания и даже сколов с удалением достаточно крупных частиц инструментального материала, прилегающих к режущему лезвию.

Принято считать, что микровыкрашивание как основной механизм изнашивания режущего лезвия идентифицируется, если размеры отдельных выкрошин находятся в пределах от значений, равных шероховатости R_{\max} (для прилегающих к лезвию передней и задней поверхностей режущего клина), до текущего значения радиуса округления резца.

Материал продуктов микровыкрашивания деструктурирован и по составу близок к продуктам постепенного изнашивания. Более крупные частицы износа сохраняют структуру исходного инструментального материала. Частицы износа, образующиеся в результате сколов, имеют размеры, превышающие радиус округления режущего лезвия, а их состав в основном соответствует составу инструментального материала. Это дает основания полагать, что механизм микровыкрашивания является промежуточным между фрикционным диспергированием и сколами, относящимися к объемному разрушению.

Существенным фактором, способствующим развитию микротрещин, которые приводят к выкрашиванию, является неравномерность нагружения режущей кромки по ее длине. При резании древесины нередко проявляется и пластическое деформирование лезвия вследствие превышения создающимися силами резания напряжений растяжения, предела текучести инструментального материала. Протеканию такого механизма способствуют недостаточная

твердость материала, повышенные температуры или проявление эффекта Ребиндера.

При постепенном изнашивании на всей поверхности контактного взаимодействия инструмента и обрабатываемого материала образуются мельчайшие частицы, состав и структура которых отличаются от состава и структуры инструментального материала. Их образование является результатом механического диспергирования за счет усталостного разрушения, окислительного износа, электрической эрозии, трибокоррозии и т. д.

Можно полагать, что изнашивание дереворежущих инструментов протекает в результате проявления двух укрупненных механизмов: первый происходит за счет химических явлений в зоне фрикционного контакта, второй – в результате изнашивающего механического воздействия. Характерной особенностью подобной картины изнашивания является синергизм механических и химических явлений, когда их взаимное влияние на износ не может быть отражено только как суммарное проявление отдельных составляющих, а заключается в возникновении эффектов, интенсифицирующих каждый из реализующихся механизмов [20].

В частности, химические процессы могут повышать интенсивность изнашивания, так как продукты коррозии во многих случаях менее прочные, чем основной металл, на котором они образуются, и имеют слабую к нему адгезию [21]. Механическая нагрузка способствует возрастанию интенсивности коррозионных процессов в зоне износа, поскольку механическое удаление продуктов коррозии приводит к постоянному восстановлению химического потенциала поверхности и замедлению процесса пассивации [19].

В целом химические явления, приводящие к разрушению поверхностных слоев дереворежущих инструментов, сводятся к следующему:

образование пленок оксидов и хелатов, имеющих слабое когезионное взаимодействие с инструментальным материалом;

растворение железа из инструментальной стали в результате окислительно-восстановительных превращений;

наводороживание и обезуглероживание поверхностных слоев металла.

Кроме того, происходит уменьшение прочности поверхностных слоев из-за образования коррозионных трещин и преобразования цементита стали в феррит, а также вследствие формирования газовых полостей с высоким давлением и возникновения при этом опасных растягивающих напряжений.

Образовавшиеся пленки оксидов имеют большую твердость и хрупкость, чем основной металл, хорошо сопротивляются сжатию, а также пассивируют и защищают поверхность от механических и химических воздействий. Однако вследствие меньшего коэффициента температурного расширения, чем у основного металла, в них выше вероятность возникновения трещин.

Значительна роль в изнашивании инструментов веществ, выделяющихся при трибодеструкции древесины, которая сопровождает процесс резания. Эти вещества образуют над слоем оксидов адсорбированные слои, состояние которых при отсутствии нагрузки и действия активных химических реагентов достаточно стабильно, но в процессе механического или химического воздействия происходит их дестабилизация, обуславливающая поверхностное разрушение инструментальных материалов.

Существенную роль в разрушении поверхностных слоев дереворежущих инструментов играет электрохимическая коррозия, когда электролитом является жидкость, выделяющаяся при обработке древесины или конденсирующаяся из выделяющихся паров, а электродами – используемые инструменты. В электролите содержатся ионы H^+ и OH^- , а также растворенный кислород. В таких условиях образуется микрогальванический элемент и происходит коррозия инструментального материала. Также возможно образование в материале инструментов микрогальванических пар между структурными составляющими инструментальной стали, что приводит к межкристаллитной коррозии.

Химическое воздействие карбоновых кислот и полифенолов может усиливаться за счет проявления эффекта Ребиндера. В этом случае поверхностно-активные вещества, находящиеся в древесине (в первую очередь смоляные и высшие жирные кислоты), адсорбируясь и проникая в микротрещины поверхностного слоя, при действии напряжений растяжения размягчают материал поверхностного слоя и облегчают его пластическое течение [6, 15].

Химическое взаимодействие металла с продуктами деструкции древесины интенсифицируется высокой температурой, развивающейся при резании. Катализаторами коррозионной активности карбоновых кислот могут быть сульфаты и хлориды, содержащиеся в древесине [25]. Химическую активность при контакте с металлами проявляют и полифенолы (пирокатехин и пирогаллол) и их производные (таннины, которые содержатся в некоторых породах древесины). В случае коррозии таннины являются ингибиторами, поскольку образуют пассивирующую пленку из хелатов.

При трибокоррозионном контакте химическая реакционная способность приводит к увеличению износа, поскольку продукты реакций со слабыми когезионными взаимодействиями легко удаляются в процессе трения [22].

В результате химического взаимодействия радикалов и атомов с ювенильной поверхностью гасится ее неуравновешенное силовое поле (свободные валентности) и выделяется дополнительное тепло, способствующее термическому пиролизу древесины.

В зоне фрикционного контакта «древесина–сталь» также отмечены явления электризации поверхностей с образованием пьезо- и трибозарядов и возникновение искровых микрозарядов [26].

К существенным изменениям свойств функциональных поверхностных слоев инструментов приводят их наводороживание и обезуглероживание. Водород выделяется при термическом разложении древесины в условиях резания. Кроме того, водород в виде ионов присутствует в слабоокислом древесном соке [6]. При определенных условиях молекулы газообразного водорода проникают в металл [5].

Водородное изнашивание инструментальных материалов может протекать по механизмам внутреннего давления, декогезии, внутренней адсорбции и повышенного давления гидридов. При реализации механизма внутреннего давления высокое давление газообразного водорода, создающееся в микротрещинах и порах, вызывает пластическую деформацию или разрушение. При проявлении декогезии растворенный водород понижает силу когезии между атомами вещества в кристаллической решетке и, соответственно, прочность и износостойкость поверхностных слоев.

Обезуглероживание инструментальных сталей может приводить к образованию феррита, имеющего низкую износостойкость. Этот процесс происходит за счет того, что водород при температуре 240...330 °С вступает в реакцию гидрирования с карбидами железа.

Механическое изнашивание также может протекать по различным механизмам:

разрушение за счет единичных или малоцикловых деформирующих воздействий на поверхности инструментов обрабатываемого материала, абразивных частиц, продуктов износа деталей оборудования и т. д.;

проявление усталостных эффектов, приводящее к накоплению и росту дефектов, возникновению остаточных напряжений и структурной трансформации инструментального материала с дальнейшим его изнашиванием;

пластическая деформация, происходящая за счет недостаточного предела текучести инструментального материала.

На предварительных этапах исследований проявление того или иного механизма механического изнашивания можно ориентировочно прогнозировать по такому критерию, как отношение твердости изнашиваемой поверхности H_n к твердости изнашивающего тела (чаще всего абразивных частиц) H_a .

При анализе механического взаимодействия древесины с инструментальным материалом необходимо учитывать, что соотношение их твердостей значительно, поэтому логично полагать, что изнашивание инструмента должно быть весьма малым. Однако даже при соотношении $H_a/H_n \leq 1,2$ наблюдается износ, вызываемый многократным упругим деформированием материала при воздействии древесины на инструменты [7, 8]. При этом происходят развитие микротрещин, возникновение остаточных напряжений, увеличение плотности дислокаций, появление вакансий и пор, что пред-

определяет преобладающую реализацию многоциклового усталостного механизма изнашивания.

При $H_a/H_n \geq 1,2$ развивается жесткое абразивное изнашивание, интенсивность которого гораздо выше за счет микрорезания, царапания и пластического деформирования. Такой вид изнашивания обусловлен попаданием в зону контакта минеральных частиц из почвы или атмосферной среды. Абразивом являются диспергированные частицы деталей оборудования и инструментов, состоящие из оксидов железа и наклепанных частиц стали. При этом следует учитывать, что как усталостные процессы, так и процессы микрорезания протекают преимущественно в оксидном и деформированном поверхностном слое инструментального материала.

Действие синергетических факторов при изнашивании дереворежущих инструментов заключается в следующем:

- снижение износостойкости вследствие уменьшения поверхностной прочности инструментального материала при химическом воздействии на него;

- интенсификация химических реакций за счет удаления продуктов реакций, замедления пассивации и регенерации химического потенциала;

- повышение скорости разрушения поверхностных слоев путем ослабления адгезионных и когезионных связей у образовавшихся продуктов реакций;

- интенсификация химических реакций за счет повышения температуры и снижения энергии активации.

При оценке степени синергетического усиления износа целесообразно выделять увеличение механического изнашивания, вызванное коррозией, и ускорение коррозии, вызванное механическим изнашиванием. Первое обусловлено тем, что продукты химических реакций обычно имеют меньшую прочность, чем металл, на котором они образуются, и слабую к нему адгезию. Химические взаимодействия более вероятны в дефектных зонах, что способствует неравномерному разрушению поверхностного слоя и уменьшению износостойкости.

Кроме того, механическое удаление продуктов химических реакций при трении приводит к постоянной регенерации химического потенциала поверхности и замедлению процесса пассивации. На изменение потенциала влияет и связанная с износом пластическая деформация, способствующая движению и выходу на поверхность дислокаций.

Это обуславливает необходимость при прогнозировании и разработке мероприятий по повышению сопротивляемости изнашиванию дереворежущих инструментов учитывать физико-химические свойства инструментальных материалов и состояние их поверхностных слоев.

Важным также является правильный выбор способа оценки сопротивляемости изнашиванию дереворежущих инструментов. Чаще всего для этого используется показатель относительной износостойкости, представляющий собой соотношение изнашивания опытных и серийных образцов. При этом условия исследований инструментов по геометрическим параметрам и траекториям движения, режимам работы, видам обрабатываемой древесины или древесных материалов должны быть аналогичными.

Величину износа можно оценивать как по окончании цикла испытаний, так и через некоторые промежутки общего времени испытаний. Обычно ее определяют по потере массы или изменению геометрических параметров исследуемых образцов. Необходима оценка и неравномерности износа лезвия по его длине. Наибольшая достоверность получаемых при этом результатов достигается при одновременном использовании нескольких альтернативных способов оценки, например по потере массы и изменению поперечной геометрии лезвия в нескольких сечениях режущего клина.

При разработке методологии износных испытаний деревоперерабатывающих инструментов наряду с эксплуатационными условиями необходимо обязательно учитывать технологические особенности их изготовления и упрочнения, обеспечивающие достижение благоприятных совокупностей характеристик состояния функциональных поверхностных слоев.

Результаты исследования и их обсуждение

Для получения достоверных результатов изнашивания инструментов должны воспроизводиться реализующиеся при их эксплуатации механизмы. Кроме того, должны задаваться параметры, способствующие интенсификации изнашивания, а именно: динамико-скоростные режимы нагружения, особенности химического и электрохимического воздействия, состояние функциональных поверхностей, их микрогеометрия, остаточное напряженное состояние, структурная и геометрическая неоднородности, насыщенность дефектами (микротрещинами, дислокациями, порами и др.).

Особенности изнашивания основных групп деревоперерабатывающих инструментов и устройств в зависимости от их назначения, характерных условий эксплуатации, а также наличия дополнительных воздействий, усугубляющих степень изнашивания, систематизированы в таблице. В ней же приведена информация о литературных источниках, в которых подробно описаны рекомендуемые методы испытаний на изнашивание различных видов деревоперерабатывающих инструментов.

Характерные виды деревопереработки и особенности изнашивания используемых для их выполнения инструментов

Вид деревопереработки	Используемые инструменты	Характерные эксплуатационные условия	Прогнозируемые преобладающие механизмы изнашивания	Воздействия, усугубляющие процесс изнашивания используе- мых инструментов	Рекомендуе- мые способы испытаний
Обработка натуральной древесины малой влажности	Фрезы, ножи для фрезерования, резцы токарные, пилы ленточные и круглые, инструмент для обработки отверстий и гнезд	Преобладающее механическое воздействие на материал инструмента	Фрикционная усталость, усталостное микровыкрашивание	Воздействие электрических разрядов, неравномерность нагружения режущего лезвия	[4, 9, 12]
Обработка композиционных древесных материалов	Пилы дисковые, ножи для фрезерования с пластинами из твердого сплава	Действие активных сред, выделяющихся в процессе резания, химическая и электрохимическая коррозия	Коррозионно-механическое изнашивание	Адсорбционное разрушение, наводороживание и обезуглеороживание материала инструментов	[4, 9, 12, 16]
Обработка при абразивном воздействии на инструмент	Пилы рамные и круглые, коросниматели, режущие рабочие органы лесозаготовительной техники	Действие на инструмент твердых компонентов ЦП, ДСП, фанеры и др. или абразива, вносимого в зону резания при обработке загрязненной древесины	Усталостно-абразивное изнашивание	Химическое воздействие активных сред, поверхностное деформирование или микрорезание абразивными зёрнами	[4, 10, 12]
Резание древесины высокой влажности или после гидротермического воздействия	Ножи лущильные, шпонострогальные	Действие активных сред, коррозия, кавитация, элементы граничной смазки	Коррозионно-механическое изнашивание	Неравномерность нагружения режущего лезвия по длине	[1, 14, 16, 23, 24]
Изготовление технологической стружки	Ножи стружечные	Действие активных сред, химическая и электрохимическая коррозия, динамический характер нагружения	Усталостно-абразивное изнашивание	Адсорбционное разрушение, наводороживание и обезуглеороживание поверхностных слоев	[14, 16, 24]
Переработка мерзлой древесины	Режущие рабочие органы лесозаготовительной техники, инструменты для первичной переработки мерзлой древесины	Низкотемпературное изменение физико-механических свойств древесины	Ударно-усталостное и ударно-абразивное изнашивание, микровыкрашивание, сколы	Низкотемпературное охрущивание инструментальных материалов	[2, 11]
Изготовление щепы, бесстружечное резание (штамповка) древесины и древесных материалов	Ножи рубильные, ножи гильотинных ножиц, штампы	Интенсивное ударно-циклическое воздействие на инструмент	Ударно-усталостное и ударно-абразивное изнашивание, выкрашивание, сколы	Химическое воздействие активных сред	[4, 6, 11]

На основании изложенных выше сведений может быть предложен следующий алгоритм проведения испытаний дереворежущего инструмента на изнашивание:

- проведение анализа условий эксплуатации принятого инструмента;
- изучение причин отказов рассматриваемых инструментов, включая характер износа, особенности его локализации, достигаемые предельные значения износа;
- выявление преобладающих механизмов изнашивания;
- установление характера и уровня воздействий, интенсифицирующих процесс изнашивания исследуемых инструментов;
- выбор методических рекомендаций по проведению испытаний на изнашивание с использованием данных, приведенных в таблице.

Выводы

Представленная в работе информация показывает, что эффективное решение проблемы существенного повышения работоспособности различных групп инструментов может быть достигнуто, если в процессе исследования их износостойкости использовать надежные способы задания и оценки влияния всех перечисленных выше факторов, определяющих сопротивляемость деревоперерабатывающих инструментов изнашиванию.

Такой подход к учету и воспроизведению широкой совокупности как внешних воздействий, так и состояния функциональных слоев дереворежущих инструментов обеспечивает возможность создания комплексной защиты рабочих зон инструментов от изнашивания. Это может способствовать успешной организации конкурентоспособного отечественного инструментального производства и поддержанию высокой работоспособности широкого перечня дереворежущих инструментов в течение всего их жизненного цикла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. А. с. 1658024 СССР, МПК G 01 N 3/58. Способ испытания дереворежущего инструмента на изнашивание / Е.А. Памфилов, В.Д. Северин, А.А. Андропов. № 4659992/28; заявл. 07.03.89; опубл. 23.06.91, Бюл. № 23. 3 с.
2. А. с. 879397 СССР, МПК G 01 N 3/58. Способ определения степени износа инструмента / Е.А. Памфилов. № 2886292/25; заявл. 22.02.80; опубл. 07.11.81, Бюл. № 41. 2 с.
3. *Евельсон Л.И., Памфилов Е.А.* Оптимизация узлов трения машин с учетом неопределенности информации в исходных данных // Трение и износ. 2006. № 2. С. 191–195.
4. *Зотов Г.А., Памфилов Е.А.* Повышение стойкости дереворежущего инструмента. М.: Экология, 1991. 304 с.
5. *Лукашев Е.А., Ставровский М.Е., Олейник А.В., Юдин В.М., Емельянов С.Г.* Трибохимия водородного износа. Курск: КГТУ, 2007. 279 с.

6. *Моисеев А.В.* Износостойкость дереворежущего инструмента. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 112 с.
7. *Мышкин Н.К., Петроковец М.И.* Трибология. Принципы и приложения. Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2002. 310 с.
8. Основы трибологии (трение, износ, смазка): учеб. для техн. вузов. 2-е изд., перераб. и доп. / под. общ. ред. А.В. Чичинадзе. М.: Машиностроение, 2001. 664 с.
9. *Памфилов Е.А.* Особенности изнашивания и повышения стойкости дереворежущих инструментов // Лесн. журн. 1997. № 1-2. С. 142–146. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. *Памфилов Е.А., Лукашов С.В., Прозоров Я.С.* Модель механохимического разрушения деталей оборудования для производства технологической стружки // Лесн. журн. 2012. № 5. С. 108–116. (Изв. высш. учеб. заведений).
11. *Памфилов Е.А., Лукашов С.В., Прозоров Я.С.* Особенности изнашивания железоуглеродистых сплавов при фрикционном контактировании с древесиной // Трение и смазка в машинах и механизмах. 2012. № 6. С. 3–9.
12. *Памфилов Е.А., Петренко Н.М.* К вопросу о механизме изнашивания дереворежущего инструмента // Лесн. журн. 1978. № 3. С. 148–150. (Изв. высш. учеб. заведений).
13. *Памфилов Е.А., Пилюшина Г.А., Савочкин А.М.* Методология триботехнических испытаний // Физика, химия и механика трибосистем. Иваново: Иванов. гос. ун-т, 2006. Вып. 5. С. 9–14.
14. *Памфилов Е.А., Прозоров Я.С., Кузнецов С.В., Лукашов С.В.* Современные методы исследования коррозионно-механического изнашивания // Изв. Самар. НЦ РАН. 2015. Т. 17, № 1. С. 146–149.
15. *Прозоров Я.С.* Повышение эффективности производства древесной стружки на основе увеличения долговечности применяемого оборудования: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2016. 16 с.
16. ASTM Standard G119. Standard Guide for Determining Amount of Synergism between Wear and Corrosion // Annual Book of ASTM Standards. Vol. 03.02: Corrosion of Metals; Wear and Erosion. West Conshocken, USA: ASTM, 2001.
17. *Baker A.J.* Corrosion of Metals in Preservative-Treated Wood // Wood Protection Techniques and the Use of Treated Wood in Construction / Ed. by M. Hamel. Madison, Wisconsin, USA: Forest Products Society, 1988. Pp. 99–101.
18. *Bayer R.G.* Mechanical Wear Fundamentals and Testing. New York, USA, 2004. 416 p.
19. Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces / ed. by Y. Waseda, S. Suzuki. Berlin, Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 297 p.
20. *Darmawan W., Rahayu I.S., Tanaka C., Marchal R.* Chemical and Mechanical Wearing of High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools by Tropical Woods // Journal of Tropical Forest Science. 2006. Vol. 18, no. 4. Pp. 255–260.
21. *Landolt D.* Corrosion and Surface Chemistry of Metals. Switzerland: EPFL Press, 2007. 400 p.
22. *Mohan G.D., Klamecki B.E.* The Susceptibility of Wood-Cutting Tools to Corrosive Wear // Wear. 1981. Vol. 74, iss. 1. Pp. 85–92.
23. *Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Y.S.* Mechanochemical Fracture of the Components of Wood-Cutting Equipment // Materials Science. 2014. Vol. 50, no. 1. Pp. 148–155.

24. Pamfilov E.A., Prozorov Y.S. On the Modeling of Mechanochemical Wear // Journal of Friction and Wear. 2012. Vol. 33, no. 3. Pp. 224–232.

25. Scholl M., Clayton P. Wear Behavior of Wood-Cutting Edges // Wear. 1987. Vol. 120, iss. 2. Pp. 221–232.

26. Stewart H.A., Srinivasan S., Stiffler A.K., Miller D.B. Electrical Discharge when Machining Medium-Density Fibreboard and Tool Wear // Tribology International. 1994. Vol. 27, iss. 5. Pp. 343–348.

Поступила 11.01.17

UDC 674.05:620.16

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.89

A Study of Cutter Wear Rate for Wood-Based Materials Processing

E.A. Pamfilov¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

E.V. Sheveleva², Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

¹Bryansk State Technical University, bul. 50-letiya Oktyabrya, 7, Bryansk, 241035, Russian Federation; e-mail: pamfilov@bgita.ru

²Bryansk State Engineering Technological University, pr. Stanke Dimitrova, 3, Bryansk, 241037, Russian Federation; e-mail: elshev@km.ru

Technical and economic efficiency in the use of woodcutting tools and the quality of products are largely determined by a set of operating characteristics of working surface layers of tools under consideration, including wear resistance. We note a significant variety of realized wear mechanisms, both in terms of their qualitative nature (gradual wear of surfaces forming the cutting edges, microchipping and chipping of the cutting blade), and the features of wear products formation. Wood-cutting tools wear is the result of mechanical, electroerosive, chemical, electrochemical and other effects. The synergism effect of the mechanical and chemical components of the wear process when their mutual influence increases the degree of manifestation of each of the observed mechanisms is the aggravating feature of surface destruction. With such a multifaceted operational impact, the wear resistance of tools is largely due to the physico-chemical properties of materials used for their manufacture, the type and regimes of hardening used, and the nature of the external influences during operation. In this regard, in order to ensure the proper wear resistance of tools, we should solve complex problems of improving their design, a sound choice of tool materials and methods for their strengthening treatment. The most important aspect of solving these problems is the experimental verification of the decisions expediency, for which the methods of wear tests that allow obtaining reliable results for various operating conditions should be developed or chosen. The choice of research methods is directly related to the nature of types of wood processing, wear mechanisms of certain wood-cutting tools. We should take into account the fact that these mechanisms can vary both in the process of a single cut, and in the process of tool dulling.

For citation: Pamfilov E.A., Sheveleva E.V. A Study of Cutter Wear Rate for Wood-Based Materials Processing. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 89–103. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.89

Keywords: wood conversion, tool, test, wear resistance, wear, physicochemical property, synergism, operational parameter, integrity, simulation, efficiency.

REFERENCES

1. Pamfilov E.A., Severin V.D., Andropov A.A. *Sposob ispytaniya derevorezhushchego instrumenta na iznashivanie* [Wear Testing Method of Wood-Cutting Tools]. Certificate of authorship USSR, no. 1658024, 1989.
2. Pamfilov E.A. *Sposob opredeleniya stepeni iznosa instrumenta* [Determination Method of Tool Wear Rate]. Certificate of authorship USSR, no. 879397, 1980.
3. Evel'son L.I., Pamfilov E.A. Optimizatsiya uzlov treniya mashin s uchetoм neopredelennosti informatsii v iskhodnykh dannykh [Optimization of Friction Units of Machines with Consideration of the Information Uncertainty in Initial Data]. *Trenie i iznos* [Journal of Friction and Wear], 2006, vol. 27, no. 2, pp. 191–195.
4. Zotov G.A., Pamfilov E.A. *Povyshenie stoykosti derevorezhushchego instrumenta* [Hardening of the Woodcutting Tool]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 304 p. (In Russ.)
5. Lukashev E.A., Stavrovskiy M.E., Oleynik A.V., Yudin V.M., Emel'yanov S.G. *Tribokhimiya vodorodnogo iznosa* [Tribochemistry of Hydrogen Wear]. Kursk, KSEU Publ., 2007. 279 p. (In Russ.)
6. Moiseev A.V. *Iznosostoykost' derevorezhushchego instrumenta* [Wear Resistance of Wood-Cutting Tools]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 112 p. (In Russ.)
7. Myshkin N.K., Petrokovets M.I. *Tribologiya. Printsipy i prilozheniya* [Tribology. Principles and Applications]. Gomel, MPRI NAS of Belarus Publ., 2002. 310 p. (In Russ.)
8. Chichinadze A.V., ed. *Osnovy tribologii (trenie, iznos, smazka)* [Fundamentals of Tribology (Friction, Wear, Lubrication)]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2001. 664 p. (In Russ.)
9. Pamfilov E.A. Osobennosti iznashivaniya i povysheniya stoykosti derevorezhushchikh instrumentov [Features of Wear and Hardening of Wood-Cutting Tools]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1997, no. 1-2, pp. 142–146.
10. Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Ya.S. Model' mekhanokhimicheskogo razrusheniya detaley oborudovaniya dlya proizvodstva tekhnologicheskoy struzhki [Model of Mechanochemical Destruction of Chip Producing Equipment Parts]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2012, no. 5, pp. 108–116.
11. Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Ya.S. Osobennosti iznashivaniya zhelezouglerodistykh splavov pri friktsionnom kontaktirovanii s drevesinoy [Features of Friction Contact between Woodworking Machinery Steel Parts and a Wood]. *Trenie i smazka v mashinakh i mekhanizmax* [Friction and Lubrication in Machines and Mechanisms], 2012, no. 6, pp. 3–9.
12. Pamfilov E.A., Petrenko N.M. K voprosu o mekhanizme iznashivaniya derevorezhushchego instrumenta [Revisiting a Wear Mechanism of a Wood-Cutting Tool]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1978, no. 3, pp. 148–150.
13. Pamfilov E.A., Pilyushina G.A., Savochkin A.M. Metodologiya tribotekhnicheskikh ispytaniy [Methodology of Tribotechnical Trials]. *Fizika, khimiya i mekhanika tribosistem*, 2006, no. 5, pp. 9–14.
14. Pamfilov E.A., Prozorov Ya.S., Kuznetsov S.V., Lukashov S.V. Sovremennyye metody issledovaniya korrozionno-mekhanicheskogo iznashivaniya [Modern Methods of Studying of Corrosion-Mechanical Wear]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN*

[Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2015, vol. 17, no. 1, pp. 146–149.

15. Prozorov Ya.S. *Povyshenie effektivnosti proizvodstva drevesnoy struzhki na osnove uvelicheniya dolgovechnosti primenyaemogo oborudovaniya: avtoref. diss. ... kand. tekhn. nauk* [Wood Chips Productivity Enhancement on the Basis of Increasing Equipment Longevity: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Arkhangel'sk, 2016. 16 p.

16. ASTM Standard G119. Standard Guide for Determining Amount of Synergism between Wear and Corrosion. *Annual Book of ASTM Standards. Vol. 03.02: Corrosion of Metals; Wear and Erosion*. West Conshohocken, USA, ASTM, 2001.

17. Baker A.J. Corrosion of Metals in Preservative-Treated Wood. *Wood Protection Techniques and the Use of Treated Wood in Construction*. Ed. by M. Hamel. Madison, Wisconsin, USA, Forest Products Society, 1988, pp. 99–101.

18. Bayer R.G. *Mechanical Wear Fundamentals and Testing*. New York, USA, 2004. 416 p.

19. Waseda Y., Suzuki S., eds. *Characterization of Corrosion Products on Steel Surfaces*. Berlin, Germany, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2006. 297 p.

20. Darmawan W., Rahayu I.S., Tanaka C., Marchal R. Chemical and Mechanical Wearing of High Speed Steel and Tungsten Carbide Tools by Tropical Woods. *Journal of Tropical Forest Science*, 2006, vol. 18, no. 4, pp. 255–260.

21. Landolt D. *Corrosion and Surface Chemistry of Metals*. Switzerland, EPFL Press, 2007. 400 p.

22. Mohan G.D., Klamecki B.E. The Susceptibility of Wood-Cutting Tools to Corrosive Wear. *Wear*, 1981, vol. 74, iss. 1, pp. 85–92.

23. Pamfilov E.A., Lukashov S.V., Prozorov Y.S. Mechanochemical Fracture of the Components of Wood-Cutting Equipment. *Materials Science*, 2014, vol. 50, no. 1, pp. 148–155.

24. Pamfilov E.A., Prozorov Y.S. On the Modeling of Mechanochemical Wear. *Journal of Friction and Wear*, 2012, vol. 33, no. 3, pp. 224–232.

25. Scholl M., Clayton P. Wear Behavior of Wood-Cutting Edges. *Wear*, 1987, vol. 120, iss. 2, pp. 221–232.

26. Stewart H.A., Srinivasan S., Stiffler A.K., Miller D.B. Electrical Discharge when Machining Medium-Density Fibreboard and Tool Wear. *Tribology International*, 1994, vol. 27, iss. 5, pp. 343–348.

Received on January 11, 2017

УДК 674.053:621.934/936
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.104

КОНТРОЛЬ ПЛОСКОСТНОСТИ КРУГЛЫХ ПИЛ

А.Е. Алексеев, д-р техн. наук, проф.

А.П. Алабышев, инж.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: a.alekseev@narfu.ru

Для плоских изделий применяются бесконтактные и контактные методы контроля плоскостности. При проведении бесконтактного контроля используют оптические системы. Контактный контроль поверхности подразумевает применение механических систем измерения или специальных преобразователей физических величин материала. Контактные методы, основанные на исследовании физических параметров материала, позволяют контролировать потерю плоской формы равновесия объекта и изменение остаточных напряжений. Образующиеся остаточные напряжения имеют наибольшее значение в области периферии диска из-за повышенного нагрева данной зоны пилы. Отклонение от плоскостности диска вследствие потери им плоской формы равновесия носит несимметричный характер. Нами предлагается применять метод акустической тензометрии для контроля плоскостности плоских круглых пил. Суть метода акустической тензометрии заключается в изменении скорости распространения ультразвуковых колебаний в материале при изменении величины остаточных напряжений. Предлагаемый способ подразумевает разбиение диска на кольцевые зоны с их последующим сканированием в окружном направлении. Отклонения кольцевой зоны от плоскостности характеризуются наличием деформации в сканируемой зоне и сравниваются с нулевыми показателями не эксплуатируемой ранее пилы. Представленная в работе экспериментальная установка предназначена для контроля плоскостности круглых пил методом акустической тензометрии и прямого измерения с помощью индикатора часового типа. Дополнительно перед проведением эксперимента контролируемые пилы подвергались химическому анализу для подтверждения соответствия заявленной марки стали у всех пил. Для возбуждения ультразвуковых колебаний на контролируемом участке использовался пьезоэлектрический преобразователь DA-501 с рабочей частотой 5 МГц, измерения проводились эхо-методом. В результате предварительного опыта было установлено, что полученные экспериментальные данные имеют нормальное распределение. Проведение основного эксперимента опиралось на полный факторный план с тремя варьируемыми параметрами, на основании результатов которого была принята теоретическая зависимость и доказана возможность использования данного метода для контроля плоскостности круглых пил.

Ключевые слова: плоскостность, круглые пилы, акустическая тензометрия, ультразвуковые колебания, остаточные напряжения.

Для цитирования: Алексеев А.Е., А.П. Алабышев Контроль плоскостности круглых пил // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 104–113. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.104

Введение

Отклонение от плоскостности – это наибольшее расстояние от точек реальной поверхности до прилегающей плоскости в пределах нормируемого участка. Методы контроля плоскостности изделий разделяются на контактные и бесконтактные.

Исследованием остаточных напряжений, возникающих в процессе изготовления, эксплуатации, термической обработки, а также разработкой методов их контроля занимались следующие ученые: Н.Н. Давыденков, Г.Ф. Косолапов, Н.Г. Чернышев, А.Л. Попов, В.М. Козинцев, Н.Н. Новиков, И.В. Кудрявцев, С.П. Буркин, И.А. Соколов, В.И. Уральский, Б.И. Гайдученко, И.А. Биргер, Н.П. Шапов, И.В. Ткачев, В. Бэкофен, М.Л. Берштейн [2–5, 7, 9–15], Стахийев Ю.М. [8]. Основными факторами, вызывающими возникновение остаточных напряжений в материале изделия, являются нагревание поверхностных слоев и пластическая деформация при силовом воздействии.

При контактном методе контроля плоскостности определяется перемещение измерительного наконечника (техническое решение задачи отображено в описаниях изобретений: № RU2168150C2, МПК G01B 5/28; № RU98122747A, МПК G01B 5/28; № RU2388997C2, МПК G01B 21/30; № RU2287776, МПК G01B 11/30) или измеряются физические параметры материала при контакте с поверхностью (см. описание изобретений: № RU2005135201A, МПК G01B 7/00; № RU2006786C1, МПК G01B 5/28; № RU2131111B, МПК G01B5 5/24, G01L 1/00, B27B33/08; № RU2400739C1, МПК G01N29/00; № RU2267371C2, МПК B21B 38/02).

При бесконтактном методе применяется оптическая профилометрия или интерферометрия (см. описание изобретений: № RU94036722A1, МПК G01B 11/30; № RU2545385C1, МПК G01B 15/02; № RU2189563C1 МПК, G01B 11/26; № SU980507A1, МПК G01B 9/02; № RU 2254556C2, МПК G01B 11/24, B21 B38/02; № RU2059194C МПК G01B9/02).

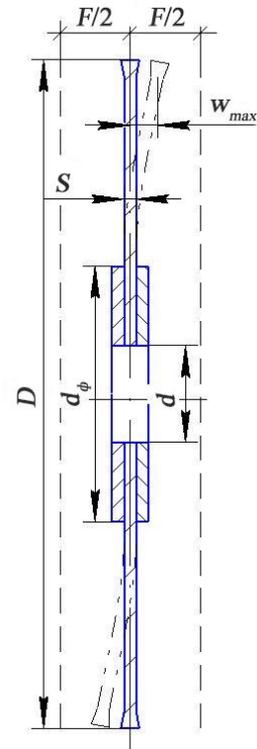
Наиболее информативны методы, позволяющие оценивать физические параметры материала, в том числе остаточные напряжения в нем. Для контроля остаточных напряжений применяются методы рентгеновской и акустической тензометрии, измерение анизотропии магнитных параметров, контроль вихревых токов.

Цель данной работы – изучить возможность применения метода акустической тензометрии для контроля плоскостности круглых плоских пил.

Результаты исследования и их обсуждение

Отклонение диска круглой пилы от плоскостности является следствием критического перепада температур вдоль ее радиуса. На рис. 1 показаны стационарное положение диска пилы и отклонение ее положения от плоскостности.

Рис. 1. Отклонение от плоскостности диска круглой пилы: F – поле допуска на отклонение от плоскостности; w_{max} – изгиб пилы; S – толщина пилы; D – диаметр пилы; d – диаметр посадочного отверстия; d_{ϕ} – диаметр фланцев



Поле допуска отклонения от плоскостности определяют исходя из размеров и свойств распиливаемого материала. Таким образом, допустимое отклонение от плоскостности круглых пил принимают равным максимальному отклонению w_{max} геометрических размеров распиливаемого материала.

Для контроля отклонения диска круглой пилы предлагается использовать метод акустической тензометрии, который заключается в измерении скорости распространения ультразвуковых колебаний под действием механических напряжений. Зависимость скорости распространения ультразвуковых колебаний от первого и второго для главных механических напряжений описывается системой уравнений [6]:

$$\begin{cases} \sigma_1 = A \frac{v_{lx} - v_{l0}}{v_{l0}}; \\ \sigma_2 = B \frac{v_{lx} - v_{l0}}{v_{l0}}, \end{cases} \quad (1)$$

где A, B – коэффициенты, определяемые экспериментально;

v_{lx}, v_{l0} – скорость распространения ультразвуковых колебаний при остаточных и нулевых напряжениях.

Вследствие наличия остаточных деформаций периферия диска отклоняется от состояния плоской формы равновесия. Схема разбиения круглой пилы на кольцевые зоны приведена на рис. 2.

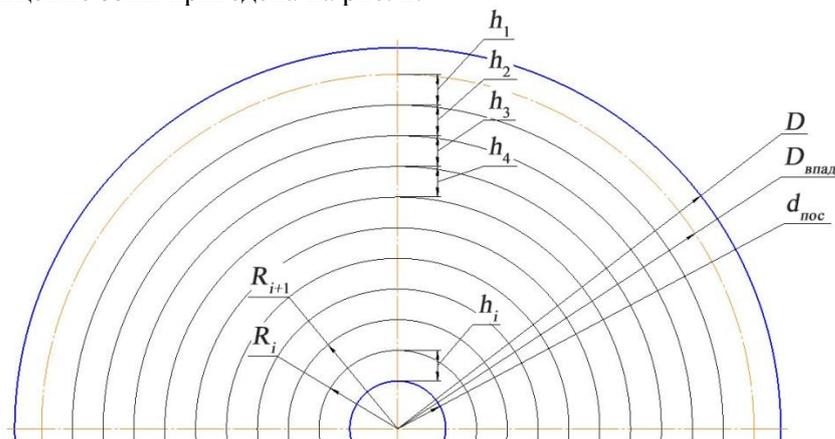


Рис. 2. Схема контролируемой поверхности: R_i – радиус i -й окружности; R_{i+1} – радиус $(i+1)$ -й окружности; h_i – ширина кольцевой зоны; $D_{\text{впад}}$ – диаметр окружности впадины зубьев пилы; $d_{\text{пос}}$ – диаметр посадочной окружности

При условии, что каждая кольцевая зона не имеет деформаций, приводящих к отклонению поверхности от плоскостности, площадь кольцевой зоны определим по следующей формуле:

$$S_{\text{к.з}} = \pi(R_{i+1} - R_i)^2 \quad (2)$$

При деформации диска площадь кольцевой зоны будет изменяться за счет остаточных деформаций, при этом площадь кольцевого сектора составит $S \pm \Delta S$ (где ΔS – приращение площади кольцевого сектора; \pm – характеризует состояние растяжения (+) или сжатия (-)). В дальнейшем будем использовать допущение, что сумма площадей кольцевой зоны будет определяться как сумма площадей кольцевых секторов как в состоянии плоской формы равновесия, так и при наличии отклонения ее от плоскостности.

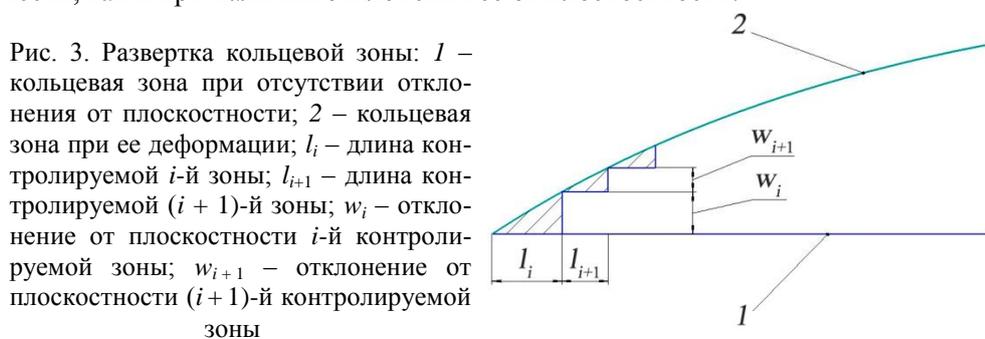


Рис. 3. Развертка кольцевой зоны: 1 – кольцевая зона при отсутствии отклонения от плоскостности; 2 – кольцевая зона при ее деформации; l_i – длина контролируемой i -й зоны; l_{i+1} – длина контролируемой $(i+1)$ -й зоны; w_i – отклонение от плоскостности i -й контролируемой зоны; w_{i+1} – отклонение от плоскостности $(i+1)$ -й контролируемой зоны

Из приведенной на рис. 3 развертки кольцевой зоны видно, что высота волнистости (высота каждого участка) развертки будет равна корню квадратному из суммы квадратов длины развертки кольцевого сектора (l_i , мм) и длины деформированной части развертки ($l_{i \text{ деф}}$, мм). Принимая допущение, что полный изгиб кольцевой зоны диска определяется как сумма высот изгибов его круговых секторов, окончательно данный параметр

$$w = \sum_{i=1}^n \sqrt{l_i^2 + l_{i \text{ деф}}^2}. \quad (3)$$

Длина деформированной части развертки ($l_{i \text{ деф}}$) рассчитывается как сумма длины недеформированной части l_i и произведения длины недеформированной части l_i на ее деформацию ε_φ (изменение размеров рассматриваемой части ввиду наличия в ней напряжений) в окружном направлении:

$$w = \sum_{i=1}^n \sqrt{l_i^2 + (l_i \pm l_i \varepsilon_\varphi)^2}. \quad (4)$$

Система уравнений, приведенная ниже, описывает изменение деформаций в радиальном и окружном направлениях в зависимости от наличия остаточных напряжений [1]:

$$\begin{cases} \sigma_r = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_r + \mu \varepsilon_\varphi); \\ \sigma_\varphi = \frac{E}{1-\mu^2} (\varepsilon_\varphi + \mu \varepsilon_r), \end{cases} \quad (5)$$

где E – модуль упругости, МПа;

μ – коэффициент Пуассона;

$\varepsilon_r, \varepsilon_\varphi$ – деформация в радиальном и окружном направлениях.

Выражаем из первого уравнения системы (5) деформацию в радиальном направлении. Полученное выражение подставляем во второе уравнение системы (5), затем значение деформации в окружном направлении подставляем в первое уравнение системы и получаем

$$\varepsilon_\varphi = \frac{1}{E} \left(\frac{v_{lx} - v_{l0}}{v_{l0}} \left(B - \frac{\mu A}{1-\mu^2} \right) + \mu \right). \quad (6)$$

Это значение деформации в окружном направлении, учитывающее изменение скорости распространения ультразвуковых колебаний в материале диска пилы, подставляем в формулу (4):

$$w = \sum_{i=1}^n \sqrt{l_i^2 + \left(l_i \pm l_i \frac{1}{E} \left(\frac{v_{lx} - v_{l0}}{v_{l0}} \left(B - \frac{\mu A}{1-\mu^2} \right) + \mu \right) \right)^2}. \quad (7)$$

Применение уравнения (7) на практике позволяет определять изгиб кольцевой зоны круглой пилы.

Для подтверждения теоретической зависимости (7) был поставлен многофакторный эксперимент по типу полного факторного плана с тремя варь-

руемыми факторами (диаметр пилы ($500 \text{ мм} \leq D \leq 710 \text{ мм}$); толщина пилы ($2,2 \text{ мм} \leq h \leq 2,8 \text{ мм}$); коэффициент перекрытия измерений ($0,1 \leq K \leq 1,0$; он характеризует угловой шаг измерения)) на экспериментальной установке (рис. 4), состоящей из регулируемого основания; вала, установленного на двух подшипниках, закрепленных в корпусе; двух фланцев диаметром 125 мм; механизма вертикального перемещения; индикатора часового типа; пьезоэлектропреобразователя; измерительного блока Krautkramer DM-5DL.

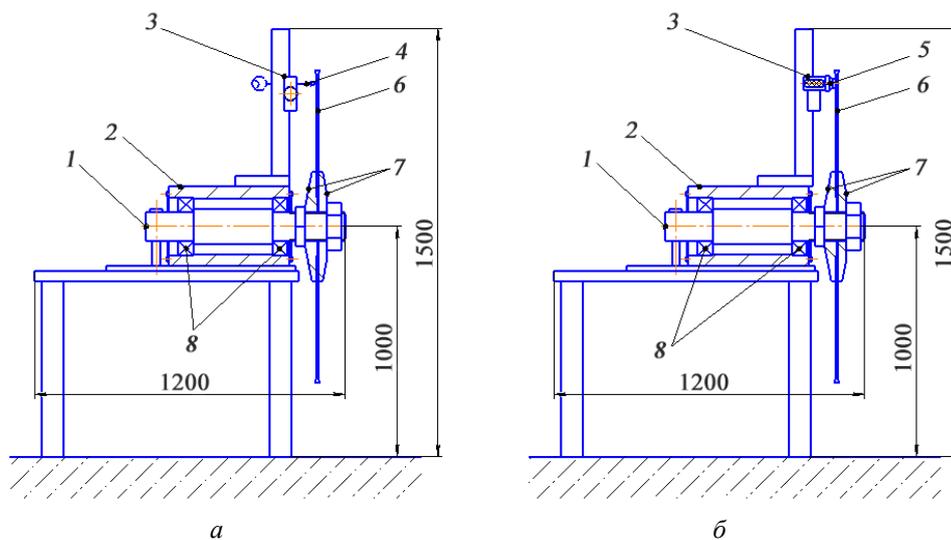


Рис. 4. Схема экспериментальной установки для измерения: *a* – отклонения от плоскостности; *б* – скорости распространения ультразвуковых колебаний; 1 – вал; 2 – корпус; 3 – крепление измерительного устройства; 4 – индикатор часового типа ИЧ-10; 5 – пьезоэлектро-преобразователь DA-501; 6 – пила; 7 – фланцы; 8 – подшипники

Регулируемое основание предназначено для нивелирования передвижения установки на эксплуатируемой поверхности. Регулирование производится путем вращения винтов, используемых в качестве ножек плиты, плиты фиксируется затяжкой гаек. В корпусе, на двух высокоточных подшипниках, установлен вал, на консольной части которого закрепляются фланцы. Первый фланец закрепляется на вал посредством резьбы, второй зажимается между установленной пилой и гайкой, накрученной на конец вала. Между фланцами возможна установка пилы с диаметром посадочного отверстия 50 мм и толщиной до 3 мм. Вращение вала позволяет изменять положение датчика относительно рассматриваемого объекта в окружном направлении.

Механизм вертикального перемещения предназначен для изменения положения датчика в радиальном направлении. Он закреплен на верхней части корпуса вала и состоит из двух вертикальных стоек, основания, верхней поперечной балки, ходового винта и траверсы. Перемещение траверсы осуществ-

ляется за счет вращения ходового винта по часовой стрелке. На траверсе крепятся индикатор часового типа ИЧ-10 и пьезоэлектрический преобразователь DA-501. Первый предназначен для измерения отклонения диска от плоскостности, второй представляет собой пьезоэлектрический преобразователь раздельно-совмещенного типа, подключаемый через соединительный кабель к измерительному блоку Krautkramer DM-5DL. Ниже приведена фотография экспериментальной установки (рис. 5).

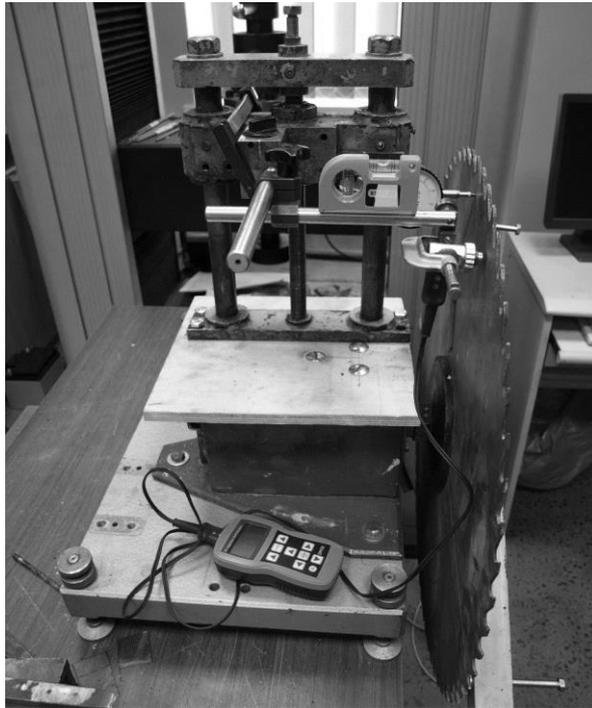


Рис. 5. Экспериментальная установка для контроля плоскостности круглых пил

Перед проведением основного эксперимента была запланирована серия предварительных опытов для установления характера распределения экспериментальных данных и статистических параметров выборки.

Прямое отклонение диска пилы от плоскостности измерялось индикатором часового типа ИЧ-10. Для этого пила устанавливалась в вертикальное положение и зажималась фланцами, установленными на вращающийся вал. Скорость распространения ультразвуковых колебаний измерялась по эхометоду, сначала при установке пилы в горизонтальное положение (чтобы найти точку отсчета, при которой отклонения диска от плоскостности отсутствуют), затем – в вертикальное положение как при прямом измерении. Кон-

троль проводился пьезоэлектропреобразователем DA-501 при частоте возбуждаемых колебаний 5 МГц.

Нормальность распределения экспериментальных данных определялась критериями асимметрии и эксцесса при прямом измерении, для контроля получены данные методом акустической тензометрии. Серии состояли из 50 измерений.

При прямом измерении асимметрия составляла $0,521 \leq 0,989$, поэтому она правосторонняя, эксцесс – $0,958 \leq 2,988$, т. е. распределение плосковершинное. При контроле методом акустической тензометрии асимметрия составляла $0,429 \leq 0,989$ (правосторонняя), эксцесс – $0,895 \leq 2,988$ (распределение плосковершинное). По результатам проверки было принято решение нормальности данных распределений.

Коэффициент корреляции экспериментальных данных при прямом измерении составлял 0,96, при контроле методом акустической тензометрии – 0,94, т. е. обе зависимости имеют линейный характер. Среднее значение при прямом измерении – 1,22 мм, при контроле акустической тензометрией – 1,19. Дисперсии выборок для прямого и неразрушающего методов измерения соответственно 1,01 и 1,05. Коэффициент вариации для обеих выборок – 2,6 %. Математическое ожидание при прямом измерении находится в диапазоне от 1,01 до 1,41 мм, при контроле методом акустической тензометрии – 0,99 до 1,39 мм.

Из результатов проведенных экспериментов следует, что принятые нами теоретические допущения правомерны и метод акустической тензометрии можно использовать для контроля плоскостности круглых пил.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Беляев Н.М.* Соппротивление материалов. М.: Наука, 1976. 608 с.
2. *Биргер И.А.* Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.
3. *Бэкофен В.* Процессы деформации / пер. с англ. В.С. Берковского и Ф.И. Рузанова; под ред. С.Е. Рокотяна. М.: Металлургия, 1977. 288 с.
4. Измерения в промышленности: справ. Т. 2. М.: Металлургия, 1990. 384 с.
5. Методы определения теплопроводности и температуропроводности / под ред. А.В. Лыкова. М.: Энергия, 1973. 336 с.
6. Неразрушающий контроль: справ. В 7 т. Т. 3. Ультразвуковой контроль / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2004. 864 с.
7. *Прудников А.П., Брычков Ю.А., Маричев О.И.* Интегралы и ряды. Элементарные функции. М.: Наука, 2002. 632 с.
8. *Стахийев Ю.М.* Работоспособность плоских круглых пил. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 384 с.
9. *Тихонов А.Н., Самарский А.А.* Уравнения математической физики. М.: Наука, 1972. 735 с.
10. Физические величины: справ. М.: Энергоатомиздат, 1991. 1232 с.
11. *Чернышев Г.Н., Попов А.Л., Козинцев В.М., Пономарев И.И.* Остаточные напряжения в деформируемых твердых телах. М.: Наука, 1996. 240 с.

12. Шимов Г.В., Буркин С.П. Основы технологических процессов обработки металлов давлением: учеб. пособие / под общ. ред. С.П. Буркина. Екатеринбург: Урал. гос. ун-т, 2014. 160 с.

13. Lam T.T., Yeung W.K. Inverse Determination of Thermal Conductivity for One-Dimensional Problems // Journal of Thermophysics and Heat Transfer. 1995. Vol. 9, iss. 2. Pp. 335–344. DOI: 10.2514/3.665

14. Lin J.Y., Cheng T.F. Numerical Estimation of Thermal Conductivity from Boundary Temperature Measurements // Numerical Heat Transfer. Part A: Applications. 1997. Vol. 32, iss. 2. Pp. 187–203.

15. Shah Vishu. Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis. Hoboken, USA: Wiley, 2007. 648 p.

Поступила 30.05.17

UDC 674.053:621.934/.936

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.104

Flatness Control of Circular Saws

A.E. Alekseev, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.P. Alabyshev, Engineer

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: a.alabyshev@narfu.ru

Contact and noncontact control methods are used to define the flatness of flat products. Optical systems are exploited at noncontact testing. Contact surface monitoring involves the use of mechanical measurement systems or special converters of material physical quantities. Contact methods based on the study of physical parameters of material, allow monitoring the loss of the plate form of equilibrium of the object and the change of residual stresses. The resulting residual stresses have the highest value in the periphery of the disk due to increased heating of this saw zone. The deviation from the flatness of the disk due to the loss of a flat form of equilibrium is asymmetrical. We suggest using the method of acoustic strain measurement to control the flatness of flat circular saws. The principle of the method of acoustic strain measurement consists in changing the propagation velocity of ultrasonic vibrations in material when changing the magnitude of residual stresses. The proposed method involves splitting the disk into the annular zones with their subsequent scanning in the circumferential direction. The deviations of the annular zone from the flatness are characterized by the presence of deformation in the scanned zone and are compared with the zero values of the saw unexploited before. The experimental installation presented in this paper is designed to control the flatness of circular saws by the method of acoustic strain measurement and direct measurement using a dial gauge. In addition, prior to the experiment, the controlled saws are subjected to chemical analysis to demonstrate the conformity of the declared steel grade of all saws. We use a piezoelectric transducer DA-501 with an operating frequency of 5 MHz to excite ultrasonic vibrations in the controlled area; the measurements are performed by an echo method. As a result of the preliminary experiment, we establish the existence of normal distribution of the obtained experimental data. The

For citation: Alekseev A.E., Alabyshev A.P. Flatness Control of Circular Saws. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 104–113. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.104.

principal experiment is based on a full factorial design with three variable parameters. According to the results, we embrace the theoretical dependence and prove the possibility of using this method to control the flatness of circular saws.

Keywords: flatness, circular saw, acoustic strain measurement, ultrasonic vibration, residual stress.

REFERENCES

1. Belyaev N.M. *Soprotivlenie materialov* [Strength of Materials]. Moscow, Nauka Publ., 1976. 608 p. (In Russ.)
2. Birger I.A. *Tekhnicheskaya diagnostika* [Technical Diagnostics]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 240 p. (In Russ.)
3. Backofen W.A. *Deformation Processing*. Boston, USA, Addison-Wesley Pub., 1972. 326 p.
4. *Izmereniya v promyshlennosti. T. 2* [Measurements in Industry. Vol. 2]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990. 384 p. (In Russ.)
5. Lykov A.V., ed. *Metody opredeleniya teploprovodnosti i temperaturoprovodnosti* [Methods for Determination the Thermal Conductivity and Thermal Diffusivity]. Moscow, Energiya Publ., 1973. 336 p. (In Russ.)
6. Klyuev V.V., ed. *Nerazrushayushchiy kontrol': sprav. V 7 t. T. 3. Ul'trazvukovoy kontrol'* [Non-Destructive Testing: a Reference Book. In 7 Vol. Vol. 3. Ultrasonic Inspection]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2004. 864 p. (In Russ.)
7. Prudnikov A.P., Brychkov Yu.A., Marichev O.I. *Integraly i ryady. Elementarnye funktsii* [Integrals and Series. Elementary Functions]. Moscow, Nauka Publ., 2002. 632 p. (In Russ.)
8. Stakhiev Yu.M. *Rabotosposobnost' ploskikh kruglykh pil* [The Performance of Flat Circular Saws]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1989. 384 p. (In Russ.)
9. Tikhonov A.N., Samarskiy A.A. *Uravneniya matematicheskoy fiziki* [Equations of Mathematical Physics]. Moscow, Nauka Publ., 1972. 735 p. (In Russ.)
10. *Fizicheskie velichiny: spravochnik* [Physical Quantities: a Reference Book]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1991. 1232 p. (In Russ.)
11. Chernyshev G.N., Popov A.L., Kozintsev V.M., Ponomarev I.I. *Ostatochnye napryazheniya v deformiruemykh tverdykh telakh* [Residual Stresses in Deformable Solids]. Moscow, Nauka Publ., 1996. 240 p. (In Russ.)
12. Shimov G.V., Burkin S.P. *Osnovy tekhnologicheskikh protsessov obrabotki metallov davleniem* [Fundamentals of Technological Processes of Metal Forming]. Yekaterinburg, Ural State Univ. Publ., 2014. 160 p. (In Russ.)
13. Lam T.T., Yeung W.K. Inverse Determination of Thermal Conductivity for One-Dimensional Problems. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 1995, vol. 9, iss. 2, pp. 335–344. doi: 10.2514/3.665
14. Lin J.Y., Cheng T.F. Numerical Estimation of Thermal Conductivity from Boundary Temperature Measurements. *Numerical Heat Transfer. Part A: Applications*, 1997, vol. 32, iss. 2, pp. 187–203.
15. Shah Vishu. *Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis*. Hoboken, USA, Wiley, 2007. 648 p.

Received on May 30, 2017

УДК 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.114

КИНЕТИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ

М.Г. Ермоченков, канд. техн. наук, доц.

Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ), ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская обл., Россия, 141005; e-mail: ermochenkov@mgul.ac.ru

Термическая обработка широко применяется для изменения свойств древесины (механических, физико-химических, теплофизических, биологических и др.). Одним из видов термического воздействия является сушка. Для определения оптимальных режимов сушки и минимизации энергетических затрат необходимо разработать математические модели процессов, протекающих в древесине при тепловом воздействии. При математическом описании тепломассообмена при сушке стоит задача описания внутренних источников теплоты и массы. Удаление влаги рассматривается как сложный многостадийный физико-химический процесс. Стадийность процесса сушки обусловлена наличием в древесине влаги, имеющей связи с древесным веществом. Разрушение связей происходит в своих (разных) диапазонах температур. Отдельные стадии рассматриваются как параллельные, независимые химические реакции и описываются кинетическими уравнениями. Для исследования кинетики удаления связанной влаги в древесине была разработана и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая проводить термогравиметрические эксперименты в среде с контролируемой влажностью. Образцы для исследования имели разную начальную влажность при различной относительной влажности среды. Результаты термогравиметрических экспериментов обрабатывали с использованием метода, позволяющего разделить процесс на отдельные стадии. Установлено, что удаление связанной влаги из древесины протекает в семь стадий. Для каждой стадии были определены энергия активации, предэкспоненциальный множитель и начальная относительная масса. Изучена зависимость кинетических параметров от относительной влажности среды. Сделано допущение, что только энергия активации зависит от влажности сушильного агента. Получены эмпирические зависимости энергии активации от относительной влажности среды для первой, второй и третьей стадий; проведены термогравиметрические исследования кинетики сушки древесины с начальной влажностью, превышающей предел насыщения клеточных стенок, т. е. при наличии свободной влаги; получены постадийные кинетические параметры.

Ключевые слова: сушка древесины, кинетика сушки, термогравиметрические исследования, кинетические параметры, относительная влажность среды.

Для цитирования: Ермоченков М.Г. Кинетические параметры процесса сушки древесины // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 114–125. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.114

Введение

Древесина широко применяется в качестве конструкционных, строительных и отделочных материалов. Она относится к возобновляемым и легко доступным источникам сырья и обладает рядом ценных свойств, обеспечивающих ее использование в различных областях деятельности человека. К таким свойствам можно отнести экологическую чистоту, достаточно высокую механическую прочность, химическую стойкость при нормальных условиях, превосходные декоративные характеристики и т. д.

Для изменения физико-химических, механических, теплотехнических, биологических, декоративных и других свойств широко используются технологические процессы, предполагающие термическое воздействие на древесину. К ним можно отнести сушку древесины и различные виды ее модифицирования, в том числе и термическое, которому может подвергаться как предварительно высушенная древесина, так и влажная. В последнем случае технологический процесс состоит из двух этапов – интенсивной сушки и модифицирования.

При сушке из материала удаляются различные виды свободной и связанной влаги. В общем случае испарение влаги происходит и на поверхности материала, и внутри его. Процесс испарения сопровождается интенсивными тепловыми эффектами. Наличие источников теплоты и массы внутри материала и на поверхности приводит к возникновению в нем градиентов температуры, давления и концентраций.

Объекты и методы исследования

Для математического описания процессов, протекающих в древесине на этапах сушки и модифицирования, нами была разработана математическая модель [2], описывающая тепло- и массообмен в древесине при нагреве. Соответствующие дифференциальные уравнения содержат члены, характеризующие внутренние источники теплоты и массы.

Испарение влаги – сложный многостадийный физико-химический процесс. Стадийность объясняется наличием в древесине воды с разными формами связи с древесинным веществом. Стадии можно рассматривать как параллельные, независимые химические реакции. Скорости протекания каждой стадии и многостадийного процесса описываются следующими уравнениями [2, 3, 6]:

$$\frac{d\omega}{d\tau} = \omega A \exp\left(-\frac{E}{RT}\right); \quad (1)$$

$$\frac{d\omega_j}{d\tau} = \sum_{j=1}^m \omega_j A_j \exp\left(-\frac{E_j}{RT}\right), \quad (2)$$

где ω – безразмерная масса на стадии;

τ – время, с;

A – частотный фактор, с^{-1} ;

E – энергия активации, Дж/моль;

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);
 T – температура, К;
 j – индекс, соответствующий номеру стадии;
 m – число стадий.

В случае моделирования процесса испарения влаги в древесине

$$\omega = \frac{W_i - W_k}{W_0 - W_k}, \quad (3)$$

где W_i , W_k , W_0 – соответственно текущая, конечная и начальная влажность древесины, %.

Таким образом, стоит задача определения кинетических параметров удаления связанной влаги и их зависимости от параметров среды.

Анализ влияния параметров среды на изменение кинетических параметров [4, 5, 7–11] позволяет для упрощения задачи сделать допущение, что только энергия активации процесса испарения связанной влаги является функцией относительной влажности воздуха, частотный фактор при этом остается константой. В этом случае уравнение (2) примет следующий вид:

$$\frac{d\omega_j}{d\tau} = \sum_{j=1}^m \omega_j A_j \exp\left(-\frac{E(\varphi)_j}{RT}\right). \quad (4)$$

Здесь φ – относительная влажность воздуха, %.

Для определения функциональной зависимости $E(\varphi)_j$ будем исходить из того, что при $\varphi = \text{const}$ энергия активации является величиной постоянной. Таким образом, задавая значения влажности воздуха и проводя при этих значениях термогравиметрические исследования процесса удаления связанной влаги, можно найти соответствующие данному уровню относительной влажности кинетические параметры, в том числе энергию активации.

Нами разработана и изготовлена экспериментальная установка для проведения термогравиметрических исследований процессов испарения влаги в древесине, которая позволила изучить кинетику сушки древесины в среде с контролируемой влажностью (рис. 1).

Установка состоит из теплоизолированной, термостатированной камеры, в стенки которой вмонтирован электрический нагреватель. Камера имеет форму цилиндра диаметром 0,22 м и высотой 0,30 м. Теплоизоляция камеры выполнена из гофрированного картона, пенополиуретана и алюминиевой фольги. Материалы для изготовления и теплоизоляции камеры выбирались из условия обеспечения минимальной теплоемкости. В камеру подается воздух, подогретый в нагревателе-печи (4). Подача в установку подогретого воздуха и наличие нагревателя в стенках камеры (8), исключающего потери теплоты в окружающую среду, позволяют минимизировать градиенты температур в объеме камеры.

Согласованная работа нагревателей камеры и подогревателя воздуха обеспечивается электронной системой управления (3) на базе двух прецизионных регуляторов температуры РИФ-101 (2). Система управления позволяет задавать и поддерживать темп нагрева в диапазоне от 0,1 до 7,0 °С/мин, а также сохранять нулевую разность температур подаваемого в камеру воздуха и стенок камеры. Соответствующие температуры контролируются с помощью

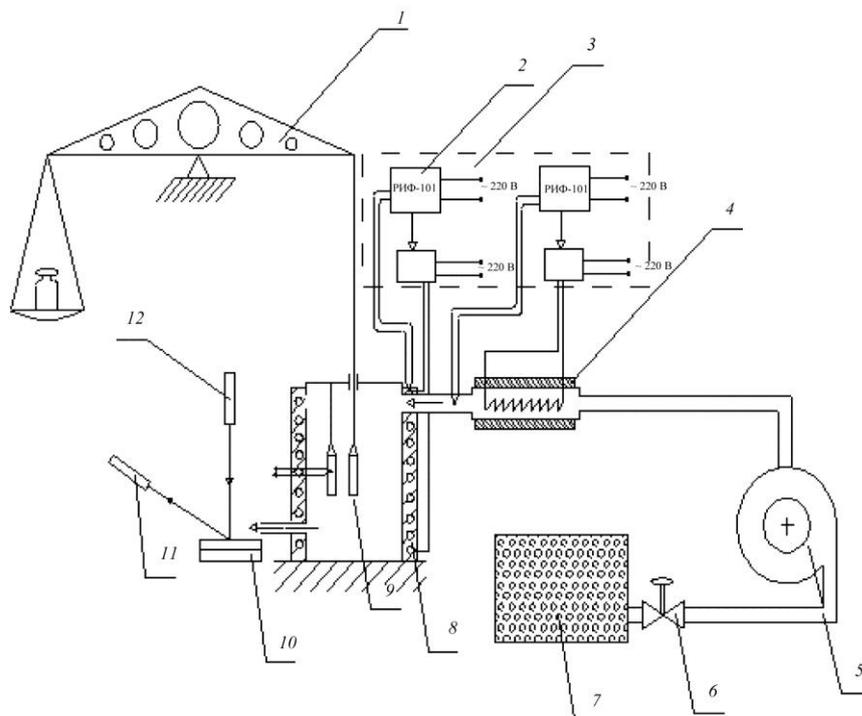


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

термопар, установленных на стенке камеры и в патрубке на выходе из воздухоподогревателя.

Воздух в камеру подается компрессором (5) в верхней части через впускное отверстие, а удаляется в нижней части через выпускное. Расход подаваемого воздуха составляет $0,007 \text{ м}^3/\text{с}$. Для выравнивания потока воздуха в верхней части камеры установлен рассекатель, что позволяет избежать циркуляционных и вихревых течений внутри камеры.

Из нижнего выпускного отверстия воздух подается на охлаждаемую полированную пластину (10) с регулируемой температурой. Пластина освещается источником света (12), отраженный световой поток попадает на приемник света (11). На полированной пластине при уменьшении ее температуры до температуры точки росы конденсируется влага, и интенсивность отраженного светового потока падает. Воздух, подаваемый в рабочую камеру установки, берется из холодильника (7) через вентиль (6). Температура внутри холодильника может меняться в диапазоне от комнатной до $-45 \text{ }^\circ\text{C}$. Это позволяет получать воздух соответствующей влажности.

Экспериментальные измерения проводили на двух идентичных образцах (9) из одного и того же материала, одинаковой геометрической формы, массы и плотности. Оба образца помещали в термостатированную камеру

установки в непосредственной близости друг от друга. Измерения показали, что разница температур образцов не превышала 0,5 °С. Один из образцов был подвешен на штوك, соединенный с коромыслом аналитических весов ВЛР-200 (I), на другом образце установлена хромель-копелевая термопара, соединенная с регистрирующим прибором АРРА-109. Показания аналитических весов считывали визуально через заданные интервалы времени. Организация эксперимента с использованием двух идентичных образцов позволила избежать очевидных технических проблем, связанных с одновременным измерением температуры образца и его взвешиванием.

Термогравиметрические исследования кинетики процесса сушки древесины проводили в воздушной среде с различной влажностью на образцах березы с разным начальным влагосодержанием. Темп нагрева – 1 К/мин от комнатной температуры до 110 °С (температуры выхода всей влаги). При идентичных условиях эксперимент повторяли от 3 до 7 раз. Ниже приведены кинетические параметры, рассчитанные по результатам экспериментов, являющихся средними в данной серии.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты термогравиметрических экспериментов на образцах древесины березы с начальной влажностью $W_{нач} = 20,02\%$ при сушке в воздухе с начальной относительной влажностью $\phi_{нач} = 21\%$ обрабатывали с использованием модели, предложенной в [1, 6], в целях получения кинетических параметров сушки для каждой стадии процесса.

Экспериментальные исследования показали, что процесс удаления связанной влаги из древесины березы протекает в 7 стадий. Результаты расчетов кинетических параметров для каждой стадии процесса приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты исследования кинетики сушки древесины березы
(удаление связанной влаги)**

Номер стадии	Температура, К			Безразмерная начальная масса	Энергия активации $\frac{E}{R}$, К	Частотный фактор, c^{-1}
	максимума скорости	начала стадии	конца стадии			
1	309	297	314	0,279	31 490	$8,260 \cdot 10^{43}$
2	315	301	320	0,219	27 120	$7,360 \cdot 10^{36}$
3	329	304	342	0,388	15 280	$1,358 \cdot 10^{19}$
4	325	317	328	0,040	50 830	$3,215 \cdot 10^{67}$
5	328	321	330	0,018	63 860	$1,971 \cdot 10^{84}$
6	331	326	333	0,012	90 260	$1,910 \cdot 10^{118}$
7	346	327	–	0,063	17 920	$3,386 \cdot 10^{20}$

По найденным кинетическим параметрам можно рассчитать изменение относительной массы образца. Сравнение экспериментальных и расчетных значений относительной массы образца приведено на рис. 2.

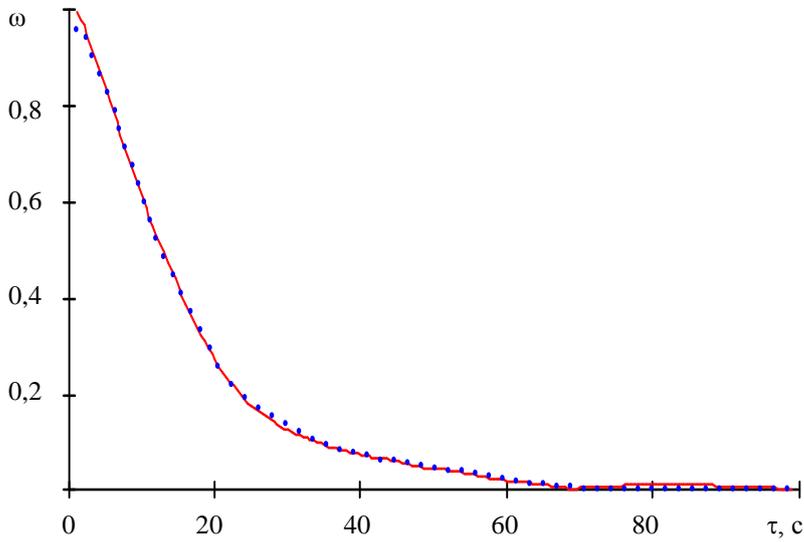


Рис. 2. Изменение относительной массы образца из древесины березы при сушке в воздушной среде (— — экспериментальные значения, — расчетные значения)

На рис. 3 представлено сравнение экспериментальных и расчетных значений производных по времени для относительной массы образца.

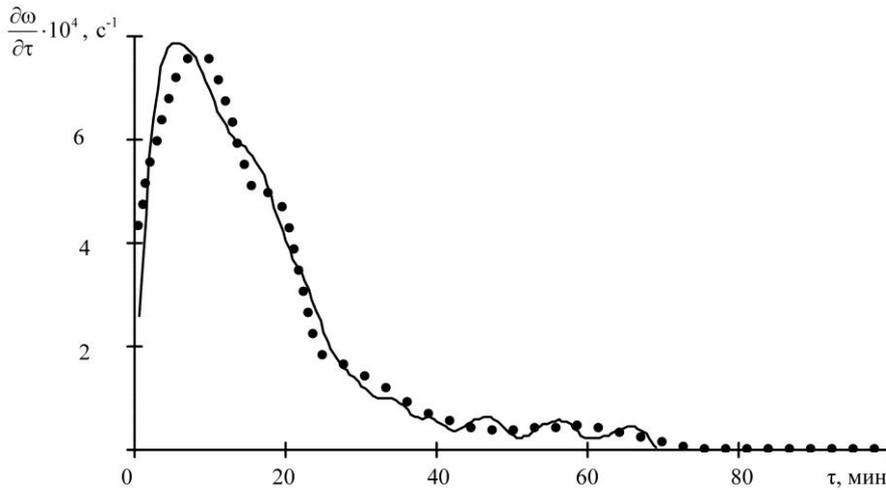


Рис. 3. Изменение производной по времени относительной массы образца из древесины березы при сушке в воздушной среде (— — производная экспериментальных значений потери массы; — сумма расчетных значений производных потери массы отдельных стадий)

Для изучения влияния влажности воздуха, подаваемого в камеру, на скорость сушки термогравиметрические эксперименты проводили в воздушной среде с различной начальной относительной влажностью. Влажность воздуха на входе в воздухоподогреватель варьировала от 3 до 91 %.

На рис. 4–6 представлены результаты исследования зависимости энергии активации трех стадий (с первой по третью) процесса сушки древесины березы от относительной влажности воздуха.

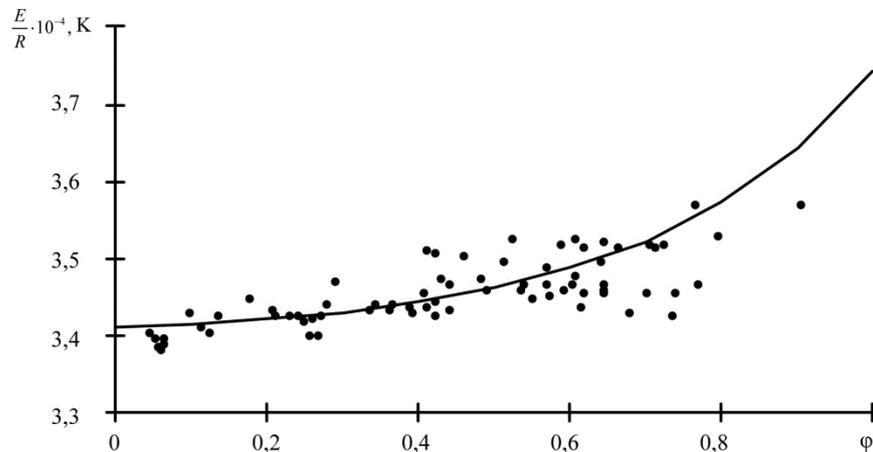


Рис. 4. Результаты исследования зависимости энергии активации первой стадии процесса сушки древесины березы от влажности среды (точки – значения, полученные в результате обработки экспериментальных данных; сплошная линия – эмпирическая зависимость (5))

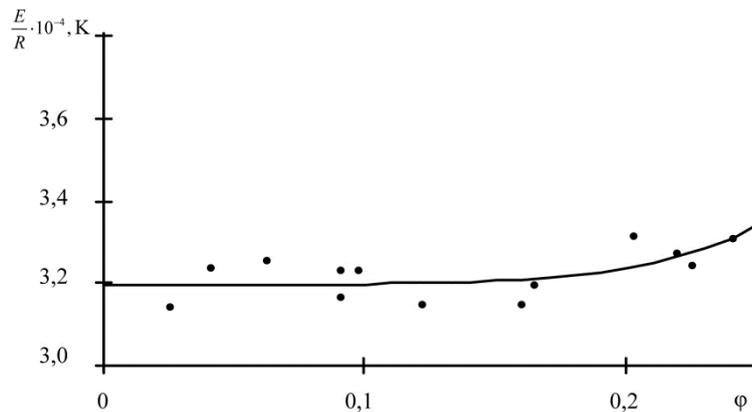


Рис. 5. Результаты исследования зависимости энергии активации второй стадии процесса сушки древесины березы от влажности среды (точки – значения, полученные в результате обработки экспериментальных данных; сплошная линия – эмпирическая зависимость (6))

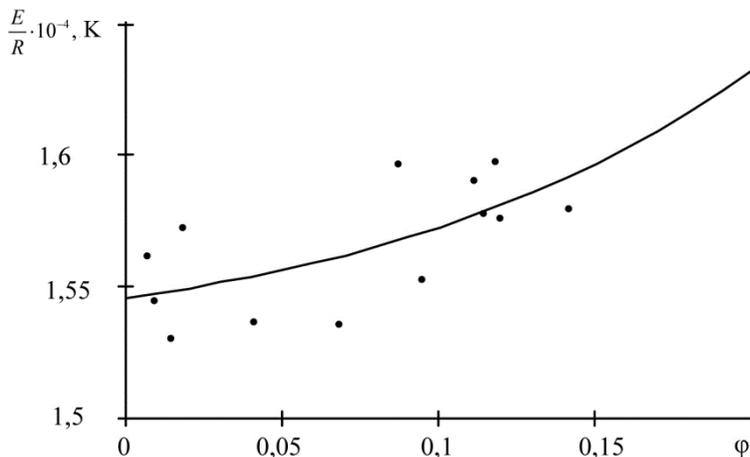


Рис. 6. Результаты исследования зависимости энергии активации третьей стадии процесса сушки древесины березы от влажности среды (точки – результаты обработки экспериментальных данных; сплошная линия – эмпирическая зависимость (7))

После обработки экспериментальных данных были получены эмпирические зависимости E от ϕ для первой, второй и третьей стадий процесса удаления связанной влаги из древесины березы:

$$E_1(\phi) = 107,6 \cdot \exp(3,46 \phi) + 34\,000; \quad (5)$$

$$E_2(\phi) = 2,638 \cdot \exp(25,306 \phi) + 3,1932 \cdot 10^4; \quad (6)$$

$$E_3(\phi) = 219 \cdot \exp(8,01 \phi) + 15\,236. \quad (7)$$

Полученные кинетические параметры удаления связанной влаги из древесины и зависимости энергии активации от влажности среды позволяют определить величину внутренних источников масс при удалении связанной влаги из древесины.

Для исследования кинетики сушки древесины при наличии свободной влаги были проведены термогравиметрические эксперименты по сушке древесины березы с различной начальной влажностью (табл. 2).

При обработке экспериментальных данных было установлено, что процесс сушки древесины березы с начальной влажностью $W_{\text{нач}} = 40,52\%$ протекает в 8 стадий. Относительная масса на первой стадии, соответствующей выходу свободной влаги, составляет $\omega_{0,1} = 0,28$. Влажность, приходящаяся на связанную влагу, $W_{\text{св}} = 29,2\%$, что хорошо согласуется с теоретическими данными [4, 5]. Стадии со второй по восьмую определяют выход связанной влаги. Кинетические параметры этих стадий хорошо согласуются с данными, приведенными в табл. 1.

Таблица 2

**Результаты исследования кинетики сушки древесины березы
при наличии свободной влаги**

Номер стадии	Температура, К			Безразмерная начальная масса	Энергия активации $\frac{E}{R}$, К	Частотный фактор, c^{-1}
	максимума скорости	начала стадии	конца стадии			
1	292/292	–	295/296	0,2710/0,3700	55932/32608	$5,091 \cdot 10^{80}/$ $1,019 \cdot 10^{46}$
2	294/296	–	303/298	0,2860/0,3330	34060/62035	$3,633 \cdot 10^{49}/$ $3,836 \cdot 10^{88}$
3	295/298	–/291	308/299	0,1350/0,1010	31090/11888	$2,852 \cdot 10^{44}/$ $6,820 \cdot 10^{170}$
4	297/299	–/296	311/301	0,2750/0,0460	14860/12763	$2,109 \cdot 10^{20}/$ $5,310 \cdot 10^{182}$
5	308/300	302/297	312/303	0,0570/0,1130	50660/72057	$1,142 \cdot 10^{69}/$ $8,870 \cdot 10^{101}$
6	315/304	309/298	318/307	0,0210/0,0130	65350/59866	$1,280 \cdot 10^{88}/$ $4,312 \cdot 10^{83}$
7	321/312	315/301	321/320	0,0024/0,0170	68130/23821	$2,330 \cdot 10^{90}/$ $9,974 \cdot 10^{30}$
8	317/330	–/324	325/333	0,0062/0,0026	19960/63970	$8,432 \cdot 10^{24}/$ $1,308 \cdot 10^{82}$
9	–/336	–/331	–/338	–/0,0042	–/89584	$–/4,660 \cdot 10^{113}$

Примечание. В числителе приведены данные для начальной влажности 40,52 %, в знаменателе – для начальной влажности 92,04 %.

Процесс сушки древесины березы с начальной влажностью $W_{нач} = 92,04\%$ протекает в 9 стадий. Выходу свободной влаги соответствуют первая и вторая стадии. Суммарная относительная масса для этих стадий $\omega_{0,1} + \omega_{0,2} = 0,686$. Стадии с третьей по девятую определяют выход связанной влаги. На них приходится 29,4 % влажности древесины, что хорошо совпадает с теоретическим значением.

Заключение

Предложенная модель адекватно описывает процесс удаления связанной влаги из древесины. Полученные для каждой стадии сушки березы кинетические параметры и их зависимости от влажности среды позволяют рассчитывать величину внутренних источников теплоты и массы в исследованиях тепло- и массообмена в древесине при сушке. В дальнейшем целесообразно изучить кинетику удаления связанной влаги из других пород древесины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ермоченков М.Г., Евстигнеев А.Г., Кувик Т.Е. Термогравиметрические исследования кинетики термической сушки древесины: науч. тр. МГУЛ. 2007. Вып. 335. С. 36–46.
2. Ермоченков М.Г., Семенов Ю.П. Математическая модель процессов, протекающих в древесине при интенсивной сушке // Структура, свойства и качество древесины: тр. IV Междунар. симп. СПб.: СПбГЛТА, 2004. С. 530–533.
3. Ермоченков М.Г., Семенов Ю.П., Евстигнеев А.Г., Кувик Т.Е. Влияние относительной влажности воздуха в порах древесины на энергию активации парообразования при интенсивном нагреве // Технология и оборудование для переработки древесины: науч. тр. МГУЛ. 2008. Вып. 342. С. 9–13.
4. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: учеб. для вузов. 4-е изд., перераб. и доп. М.: Лесн. пром-ть, 1987. 360 с.
5. Чудинов Б.С. Вода в древесине. Новосибирск: Наука, 1984. 270 с.
6. Шведов Б.А. Энерго- и массообмен в материалах тепловой защиты многоразовых ракетно-космических систем: дис. ... д-ра техн. наук. М.: МЛТИ, 1990. 542 с.
7. Collignan A., Nadeau J.P., Puiggali J.R. Description and Analysis of Timber Drying Kinetics // Drying Technology. 1993. Vol. 11, iss. 3. Pp. 489–506.
8. Dincer I. Moisture Loss from Wood Products During Drying. Part I: Moisture Diffusivities and Moisture Transfer Coefficients // Energy Sources. 1998. Vol. 20, iss. 1. Pp. 67–75.
9. Fyhr C., Rasmuson A. Mathematical Model of Steam Drying of Wood Chips and Other Hygroscopic Porous Media // Aiche Journal. 1996. Vol. 42, iss. 9. Pp. 2491–2502.
10. Pang S., Haslett A.N. The Application of Mathematical Models to the Commercial High-Temperature Drying of Softwood Lumber // Drying Technology. 1995. Vol. 13, iss. 8-9. Pp. 1635–1674.
11. Peters B., Bruch C. Drying and Pyrolysis of Wood Particles: Experiments and Simulation // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis. 2003. Vol. 70, iss. 2. Pp. 233–250.

Поступила 13.02.16

UDC 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.114

Kinetic Parameters of Wood Drying Process

M.G. Ermochenkov, *Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor*

Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, ul. Pervaya Institutskaya, 1, Mytishchi, Moscow oblast, 141005, Russian Federation;

e-mail: ermochenkov@mgul.ac.ru

For citation: Ermochenkov M.G. Kinetic Parameters of Wood Drying Process. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 114–125. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.114

Heat treatment is widely used to modify the mechanical, physical and chemical, thermophysical, biological and other properties of wood. Drying is one of the types of thermal impact. We should develop mathematical models of the processes occurring in wood under thermal action to determine the optimal modes of drying and minimize energy costs. The author faces a task of describing internal heat and mass sources to make the mathematical descriptions of heat and mass transfer during drying. The moisture removal is regarded as a complex multi-stage physicochemical process. The stage of the drying process is due to the moisture in wood, connected with wood substance. The destruction of bonds occurs in their (different) temperature ranges. Individual stages are considered as parallel, independent chemical reactions and are described by kinetic equations. We develop and produce an experimental plant to study the kinetics of bound moisture removal in wood. This unit allows conducting thermogravimetric experiments in a controlled humidity environment. Samples for the study have different initial humidity at different environmental relative humidity. The results of thermogravimetric experiments are processed using a method separating the process into the stages. The bound moisture removal from wood proceeds in seven stages. For each stage, we determine the activation energy, the pre-exponential factor, and the initial mass fraction values. The dependence of kinetic parameters on the environmental relative humidity is studied. The author assumes that only the activation energy depends on the humidity of the drying agent. Empirical dependences of the activation energy on the environmental relative humidity for the first, second and third stages are obtained; thermogravimetric studies of the drying kinetics of wood with an initial moisture exceeding the fibre saturation point, i.e. in the presence of free moisture are undertaken; stepwise kinetic parameters are established.

Keywords: wood drying, drying kinetics, thermogravimetric study, kinetic parameter, environmental relative humidity.

REFERENCES

1. Ermochenkova M.G., Evstigneev A.G., Kuvik T.E. Termogravimetricheskie issledovaniya kinetiki termicheskoy sushki drevesiny [Thermogravimetric Research of the Kinetics of Thermal Drying of Wood]. *Nauchnye trudy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa* [Works of Moscow State Forest University], 2007, iss. 335, pp. 36–46.
2. Ermochenkova M.G., Semenov Yu.P. Matematicheskaya model' protsessov, protekayushchikh v drevesine pri intensivnoy sushke [Mathematical Model of the Processes Occurring in Wood when Intensive Drying]. *Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny: tr. IV Mezhdunar. simp.* [The Structure, Properties and Quality of Wood: Proc. 4th Inter. Symp.]. Saint Petersburg, SPbSFTA Publ., 2004, pp. 530–533. (In Russ.)
3. Ermochenkova M.G., Semenov Yu.P., Evstigneev A.G., Kuvik T.E. Vliyaniye odnositel'noy vlazhnosti vozdukha v porakh drevesiny na energiyu aktivatsii paroobrazovaniya pri intensivnom nagreve [The Effect of Relative Air Humidity in the Wood Pores on the Activation Energy of Evaporation under Intense Heating]. *Tekhnologiya i oborudovaniye dlya pererabotki drevesiny: nauchnye trudy Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa* [Technology and Equipment for Wood Processing: Works of Moscow State Forest University], 2008, iss. 342, pp. 9–13. (In Russ.)
4. Sergovskiy P.S., Rasev A.I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal Treatment and Preservation of Wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p. (In Russ.)

5. Chudinov B.S. *Voda v drevesine* [Water in Wood]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1984. 270 p. (In Russ.)
6. Shvedov B.A. *Energo- i massoobmen v materialakh teplovoy zashchity mnogorazovykh raketno-kosmicheskikh sistem: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Energy and Mass Transfer in Thermal Protection Materials of Reusable Space-Rocket Systems: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Moscow, 1990. 542 p.
7. Collignan A., Nadeau J.P., Puiggali J.R. Description and Analysis of Timber Drying Kinetics. *Drying Technology*, 1993, vol. 11, iss. 3, pp. 489–506.
8. Dincer I. Moisture Loss from Wood Products During Drying – Part I: Moisture Diffusivities and Moisture Transfer Coefficients. *Energy Sources*, 1998, vol. 20, iss. 1, pp. 67–75.
9. Fyhr C., Rasmuson A. Mathematical Model of Steam Drying of Wood Chips and Other Hygroscopic Porous Media. *Aiche Journal*, 1996, vol. 42, iss. 9, pp. 2491–2502.
10. Pang S., Haslett A.N. The Application of Mathematical Models to the Commercial High-Temperature Drying of Softwood Lumber. *Drying Technology*, 1995, vol. 13, iss. 8-9, pp. 1635–1674.
11. Peters B., Bruch C. Drying and Pyrolysis of Wood Particles: Experiments and Simulation. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*, 2003, vol. 70, iss. 2, pp. 233–250.

Received on February 13, 2016



ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

УДК 62-784.43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА
МИНЕРАЛЬНОВОЛОКНИСТЫМИ СЕПАРАТОРНЫМИ БУМАГАМИ**

А.С. Смолин¹, д-р техн. наук, проф.

Н.В. Щербак², канд. техн. наук, доц.

М.А. Лоренгель¹, асп.

Е.В. Дубовой³, асп.

¹Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; e-mail: smolin@gturp.spb.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru

³Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, ул. Политехническая, д. 29, Санкт-Петербург, Россия, 195251; e-mail: dubovoy.evgeniy@gmail.com

Изучено влияние композиции по волокну на эффективность очистки воздуха сепараторными бумагами, используемыми в испарительных элементах охладителей испарительного типа. Образцы сепараторных бумаг моделировали в лабораторных условиях из стекловолокна четырех марок, отличающихся номинальным диаметром (0,1; 0,25; 0,4; 0,6 мкм). Получены одно-, двух-, трех- и четырехкомпонентные образцы. Волокна в композиции варьировали в диапазоне от 0 до 100 % с шагом 25 %. Эффективность очистки воздуха оценивали по методу, основанному на определении размера наиболее проникающих частиц масляного аэрозоля (Most Penetration Particle Size). В ходе исследований установлено, что с помощью всех изученных композиций достигались классы очистки воздуха ЕРА (эффективный материал) и НЕРА (высокоэффективный). Исключение составлял образец, изготовленный из 100 %-го ультратонкого стекловолокна номинальным диаметром 0,6 мкм. Дополнительно оценивали эффективность очистки воздуха для частиц размером 0,3 мкм. Размер наиболее проникающих частиц для большинства композиций составлял 0,1...0,15 мкм. Наименьшая эффективность отмечена для двухкомпонентных образцов, изготовленных из волокон номинальным диаметром 0,4 и 0,6 мкм соответственно. Это отвечает теоретическим представлениям

Для цитирования: Смолин А.С., Щербак Н.В., Лоренгель М.А., Дубовой Е.В. Оценка эффективности очистки воздуха минеральноволокнистыми сепараторными бумагами // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 126–134. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126

и ранее полученным результатам: отсутствие в композиции более тонких волокон приводит к получению более грубых крупнопористых структур с меньшей эффективностью очистки воздуха. Эффективность очистки воздуха для частиц размером 0,3 мкм выше по сравнению с размером наиболее проникающих частиц, что соответствует положениям механики аэрозолей Фукса. Двухкомпонентные образцы, изготовленные из волокон номинального диаметра 0,4 и 0,6 мкм, имеют наименьшую эффективность очистки воздуха, так как отсутствие в их композиции более тонких волокон приводит к получению более грубых крупнопористых структур. Максимальная эффективность была достигнута для двух- и трехкомпонентных образцов, в которых суммарное содержание волокон номинальным диаметром 0,4 и 0,6 мкм не превышало 50 %. Эти образцы соответствовали классам очистки воздуха H13, H14.

Ключевые слова: сепараторная бумага, испарительный элемент, класс очистки воздуха, стеклянное волокно, эффективность очистки.

Введение

В последнее десятилетие повышение энергоэффективности и экологического уровня техники и технологии спровоцировало разработку различных видов охладителей испарительного типа, предназначенных для вентиляции как больших (промышленных), так и небольших (бытовых) помещений, а также передвижных мест пребывания человека. Основным рабочим элементом в кондиционерах испарительного типа является испарительный, представляющий собой в большинстве случаев кассеты или картриджи из объемного целлюлозного материала [6, 12, 16, 18]. Разработчики испарительных кондиционеров, независимо от конструкции и компании производителя, гарантируют дополнительную очистку охлаждаемого воздуха от крупных включений и пыли. Однако данных по эффективности его очистки, как правило, не приводится, так как данная функция испарительных элементов относится к вспомогательным.

Разработчики первого персонального кондиционера Evapolar [18] в качестве испарительного элемента используют листовый материал из стеклянных или базальтовых волокон, отличающийся не только улучшенными капиллярными, но и высокими фильтрующими свойствами [1, 7, 10, 11, 15, 17]. Авторы и разработчики Evapolar совместно с сотрудниками инновационно-технологического центра (ИТЦ) «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета (САФУ) им. М.В. Ломоносова изучали эффективность очистки воздуха минеральноволокнистой сепараторной бумагой, используемой в испарительных элементах.

Цель работы – исследование влияния композиционного состава по волокну минеральноволокнистой сепараторной бумаги на эффективность очистки воздуха.

Объекты и методы исследования

Все работы проводились на базе ИТЦ САФУ. На основе анализа ранее полученных данных о влиянии диаметра стеклянных волокон на свойства бумагоподобных композиционных материалов [4, 8, 9] была составлена схема изменения композиционного состава с использованием стекловолокон четырех марок: НТВ-0,1 – нанотонкие номинальным диаметром 0,1 мкм; МТВ-0,25 и МТВ-0,4 – микротонкие диаметром соответственно 0,25 и 0,4 мкм; УТВ-0,6 – ультратонкие диаметром 0,6 мкм. Варьирование в композиции волокна одной марки принято в диапазоне от 0 до 100 % с шагом 25 %. Образцы сепараторной бумаги массой 100 г/м² изготавливали в лабораторных условиях на динамическом листоотливном аппарате, позволяющем получать анизотропную структуру, аналогичную структуре бумаг промышленного изготовления.

Для изучения эффективности фильтрации при помощи образцов применяли метод, основанный на определении размера наиболее проникающих частиц масляного аэрозоля (Most Penetration Particle Size – МРРS) [5, 13, 14]. Измеряли интегральные значения эффективности по методу, регламентированному ГОСТ Р ЕН 1822-3–2012 [3]. Категорирование образцов по классу очистки осуществляли в соответствии с ГОСТ Р ЕН 1822-1–2010 [2].

Результаты исследования и их обсуждение

В соответствии с таблицей были изготовлены двух-, трех- и четырех-компонентные образцы материала из стекловолокна разных марок. Оценка эффективности очистки позволила определить размер наиболее проникаемых частиц и класс очистки для всех исследуемых композиций. Дополнительно в ней представлены данные по эффективности очистки для размера частиц 0,3 мкм, как общепринятого при оценке пылеудержания.

Анализ данных, приведенных в таблице, показал высокую эффективность очистки у всех образцов. По показателю эффективности образцы соответствуют требованиям, предъявляемым к эффективным (классы ЕРА – Е10, Е11, Е12) и высокоэффективным (классы НЕРА – Н13, Н14) материалам. Исключение составляет только образец из 100 %-го ультратонкого волокна. Это закономерно объясняется получением крупнопористых структур из волокон со средним номинальным диаметром 0,6 мкм. Необходимо отметить, что ни одна из композиций не позволила получить образец, имеющий сверхвысокую эффективность очистки (классы ULPA – U15 и выше).

Отмечена более высокая эффективность очистки воздуха для частиц размером 0,3 мкм у всех исследуемых образцов независимо от композиции. Установлена тесная взаимосвязь эффективности, оцениваемой для частиц МРРS и частиц размером 0,3 мкм. Зависимость, приведенная на рис. 1, соответствует положениям механики аэрозолей Фукса.

**Влияние композиции по волокну на эффективность очистки воздуха
лабораторными образцами сепараторных бумаг**

Доля стекловолокна, %				MPPS, мкм	Эффективность, % (для MPPS)	Класс очистки	Эффективность, % (для частиц 0,3 мкм)
НТВ-0,1	МТВ-0,25	МТВ-0,4	УТВ-0,6				
100	0	0	0	0,10	99,99779	H14	99,99950
0	100	0	0	0,10	99,99933	H14	99,99979
0	0	100	0	0,15	98,18935	E11	99,07064
0	0	0	100	0,17	78,74419	*	84,45299
75	25	0	0	0,05	99,99823	H14	99,99975
75	0	25	0	0,10	99,99773	H14	99,99938
75	0	0	25	0,10	99,99500	H14	99,99911
25	75	0	0	0,05	99,99914	H14	99,99987
0	75	25	0	0,10	99,99145	H13	99,99712
0	75	0	25	0,10	99,99610	H14	99,99922
25	0	75	0	0,10	99,81665	E12	99,93882
0	25	75	0	0,10	99,91447	E12	99,98889
0	0	75	25	0,15	94,93125	E10	97,41413
25	0	0	75	0,15	97,69201	E11	98,99620
0	25	0	75	0,10	98,59663	E11	99,50869
0	0	25	75	0,15	86,77262	E10	91,21995
50	50	0	0	0,05	99,99898	H14	99,99984
50	0	50	0	0,10	99,94825	E12	99,99284
50	0	0	50	0,10	99,95689	H13	99,98987
0	50	50	0	0,10	99,95873	H13	99,98786
0	50	0	50	0,05	99,98043	H13	99,99575
0	0	50	50	0,15	93,59564	E10	96,34886
50	25	25	0	0,15	99,99912	H14	99,99972
50	25	0	25	0,15	99,99768	H14	99,99941
50	0	25	25	0,10	99,98777	H13	99,99691
25	50	25	0	0,10	99,99942	H14	99,99980
25	50	0	25	0,10	99,99900	H14	99,99979
0	50	25	25	0,15	99,96692	H13	99,98476
25	25	50	0	0,10	99,98948	H13	99,99658
25	0	50	25	0,10	99,46211	E11	99,77573
0	25	50	25	0,15	99,87023	E11	99,96587
0	25	25	50	0,15	99,09676	E11	99,62672
25	25	0	50	0,10	99,89321	E12	99,95472
25	0	25	50	0,15	99,29533	E11	99,69126
25	25	25	25	0,10	99,97195	H13	99,99625

* Не категоризируется как эффективный фильтр по ГОСТ Р ЕН 1822-1–2010 [2].

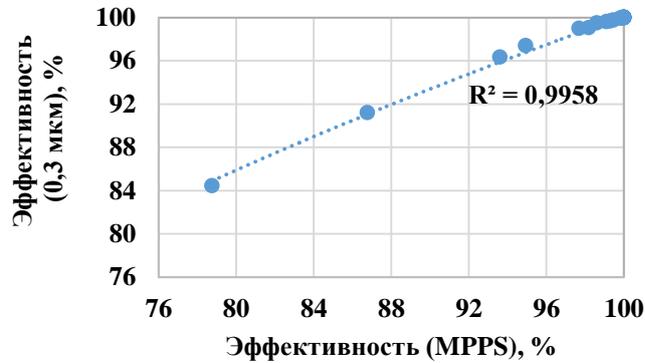


Рис. 1. Взаимосвязь эффективности, оцениваемой для частиц размером 0,3 мкм, и эффективности по наиболее проникающим частицам (MPPS)

Наименьшая эффективность отмечена для двухкомпонентных образцов, изготовленных из волокон марок МТВ-0,4 и УТВ-0,6 с номинальным диаметром волокна 0,4 и 0,6 мкм соответственно. Это отвечает теоретическим представлениям и ранее полученным результатам, т. е. отсутствие в композиции более тонких волокон марок НТВ-0,1 и МТВ-0,25 приводит к получению более грубых крупнопористых структур с меньшей эффективностью очистки воздуха (рис. 2).

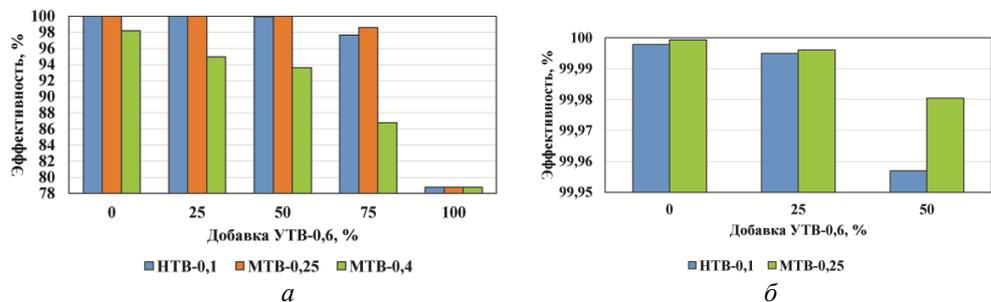


Рис. 2. Влияние добавки волокон марки УТВ-0,6 на эффективность двухкомпонентных образцов классов HEPA, EPA (a) и классов HEPA (б)

Максимальная эффективность очистки воздуха была достигнута для двух- и трехкомпонентных образцов, в которых суммарное содержание волокон марок МТВ-0,4 и(или) УТВ-0,6 не превышает 50 %. В этом случае образцы соответствуют классам H13, H14. В противном случае класс очистки не превышает E12. Полученные результаты объясняются особенностями образующихся структур при использовании тонких (НТВ-0,1; МТВ-0,25) или более грубых (МТВ-0,4; УТВ-0,6) волокон.

Эффективность очистки от частиц размером 0,3 мкм для образцов, в композиции которых суммарное содержание волокон марок МТВ-0,4 и УТВ-0,6 не превышает 25 %, соответствует классу U15.

Заключение

Сепараторные бумаги из стекловолокна с номинальным диаметром не более 0,6 мкм могут быть использованы в качестве материалов для эффективной и высокоэффективной очистки воздуха. Для достижения высокоэффективного класса очистки воздуха HEPA суммарное содержание в композиции стекловолокон марок МТВ-0,4 и УТВ-0,6 не должно превышать 50 %.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГК «Воздушные фильтры». Российское представительство компании «Libeltex», Бельгия. Режим доступа: www.filters.ru (дата обращения: 12.04.2017).
2. ГОСТ Р ЕН 1822-1–2010. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха ЕРА, HEPA и ULPA. Ч. 1. Классификация, методы испытаний, маркировка. Введ. 2013–12–01. М.: Стандартинформ, 2011. 19 с.
3. ГОСТ Р ЕН 1822-3–2012. Высокоэффективные фильтры очистки воздуха ЕРА, HEPA и ULPA. Ч. 3. Испытания плоского фильтрующего материала. Введ. 2013–12–01. М.: Стандартинформ, 2013. 33 с.
4. *Дубовый В.К.* Бумагоподобные композиционные материалы на основе минеральных волокон: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 2006. 370 с.
5. *Дю А.В., Сысоева Н.В., Дубовый В.К.* Новый метод оценки эффективности фильтровальных материалов // Изв. СПбЛГА. 2014. № 209. С. 221–229.
6. Кондиционирование. Современные решения. Бытовой испарительный кондиционер CD-ZYEV-06-13B. Режим доступа: <http://www.comfort-de-luxe.ru/index-evacooling1006.html> (дата обращения: 12.04.2017).
7. Марийский ЦБК: офиц. сайт компании. Продукция. Режим доступа: <http://marbum.ru/produksiya> (дата обращения: 29.03.2017).
8. *Мишеникова М.А., Дубовый В.К., Безлаковский А.И.* Влияние диаметра стеклянных волокон на свойства фильтровальных материалов на основе минеральных волокон // Материалы 2-й междунар. науч.-техн. конф., посвященной памяти проф. В.И. Комарова. Архангельск: САФУ, 2013. С. 128–132.
9. *Мишеникова М.А., Красиков В.Д., Дубовый В.К.* Влияние структурных наноразмерных характеристик минерального волокна на проницаемость композитных фильтрационных материалов // Материалы 15-й междунар. науч.-практ. конф. «Высокие технологии, фундаментальные исследования, финансы». СПб., 2013. С. 186–189.
10. ООО «НПП «ФОЛТЕР». Фолтер – воздушные фильтры и пылеуловители. Режим доступа: <http://www.folter.ru/> (дата обращения: 12.04.2017).
11. ООО «Фильтрующие материалы». Производство воздушных фильтров. Режим доступа: <http://filtrmat.ru> (дата обращения: 13.04.2017).
12. Проектирование летнего охлаждения производственных помещений. Gold Air. Адиабатические испарительные охладители. Режим доступа: [http://new.losevon-line.ru/files/18/cold-air-calculating-manual\(1\).pdf](http://new.losevon-line.ru/files/18/cold-air-calculating-manual(1).pdf) (дата обращения: 20.04.2017).

13. Сысоева Н.В. Современные методы оценки качества воздушных фильтров // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы 2-й междунар. конф., посвященной памяти В.И. Комарова, 10–12 сент. 2013 г., Архангельск. Режим доступа: <http://paper2011.narfu.ru/upload/iblock/f6a/Sysoeva.pdf> (дата обращения: 13.04.2017).

14. Фукс Н.А. Механика аэрозолей. М.: АН СССР, 1955. 353 с.

15. Andrew Industries Limited. Режим доступа: <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm>. (дата обращения: 25.04.2017).

16. Eberspacher. Air Conditioning. Режим доступа: <https://www.eberspacher.com/en/products/air-conditioning.html>. (дата обращения: 25.04.2017).

17. Hollingsworth and Vose. Режим доступа: <http://www.hollingsworth-vose.com/en>. (дата обращения: 25.04.2017).

18. World's First Personal Air Cooler. Режим доступа: <https://evapolar.com>. (дата обращения: 25.04.2017).

Поступила 25.05.17

UDC 62-784.43

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126

Estimating Efficiency of Air Cleaning by Mineral Fiber Separator Papers

A.S. Smolin¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

N.V. Shcherbak², Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

M.A. Lorengel¹, Postgraduate Student

E.V. Dybovoy³, Postgraduate Student

¹Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: smolin@gturp.spb.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: n.sisoeva@narfu.ru

³Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University, ul. Politekhnikeskaya, 29, Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; e-mail: dubovoy.evgeniy@gmail.com

The paper presents the study results of the fiber furnish effect on the efficiency of air purification by separator papers used in evaporating elements of evaporative coolers. Samples of separator papers were modeled in laboratory conditions from glass fibers of four grades, differing in nominal diameter (0.1; 0.25; 0.4; 0.6 microns). We obtained one-, two-, three- and four-component samples. The fibers in the composition varied between 0 and 100 % in 25 % increments. The efficiency of air purification was evaluated by the method based on sizing of the most penetrating particles of oil aerosol (Most Penetration Particle Size). We achieved the EPA (effective material) and HEPA (highly effective) air purity classes by all studied compositions. The exception was a sample made of 100 % superfine glass fiber with a nominal diameter of 0.6 micron. Additionally, we evaluated the efficiency of air purification for particles of 0.3 micron in size. The size of the most penetrating particles for most

For citation: Smolin A.S., Shcherbak N.V., Lorengel' M.A., Dybovoy E.V. Estimating Efficiency of Air Cleaning by Mineral Fiber Separator Papers. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 126–134. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.126

compositions was 0.1...0.15 micron. The lowest efficiency was noted for two-component samples made of fibers with a nominal diameter of 0.4 and 0.6 micron, respectively. This corresponded to theoretical concepts and previously obtained results: the absence of finer fibers in the composition led to the production of coarsely structures with less efficient air purification. The efficiency of air purification for particles with a size of 0.3 micron was higher in comparison with the size of the most penetrating particles. This corresponded to the provisions of the Mechanics of Aerosols by Fuchs. Two-component samples made of fibers with a nominal diameter of 0.4 and 0.6 micron had the lowest efficiency of air purification, since the absence of thinner fibers in their composition resulted in coarsely structures. Maximum efficiency was achieved for two- and three-component samples in which the total content of fibers with a nominal diameter of 0.4 and 0.6 micron did not exceed 50 %. These samples corresponded to the H13, H14 air purity classes.

Keywords: separator paper, evaporating element, air purity class, glass fiber, purification efficiency.

REFERENCES

1. GK «Vozdushnye fil'try». Rossiyskoe predstavitel'stvo kompanii «Libeltex», Bel'giya [Group of Companies Vozdushnye Fil'try. The Russian Representative Office of the Company "Libeltex", Belgium]. Available at: www.filters.ru (accessed 12.04.2017).
2. GOST R EN 1822-1-2010. Vysokoeffektivnye fil'try ochistki vozdukhа EPA, HEPA i ULPA. Ch. 1. Klassifikatsiya, metody ispytaniy, markirovka [State Standard R EN 1822-1-2010. High Efficiency Air Filters (EPA, HEPA and ULPA). Part 1. Classification, Performance Testing, Marking]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 19 p. (In Russ.)
3. GOST R EN 1822-3-2012. Vysokoeffektivnye fil'try ochistki vozdukhа EPA, HEPA i ULPA. Ch. 3. Ispytaniya ploskogo fil'truyushchego materiala [State Standard R EN 1822-3-2012. High Efficiency Air Filters (EPA, HEPA and ULPA). Part 3. Testing Flat Sheet Filter Media]. Moscow, Standartinform Publ., 2013. 33 p. (In Russ.)
4. Dubovyy V.K. *Bumagopodobnye kompozitsionnye materialy na osnove mineral'nykh volokon*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Paperlike Composites Based on Mineral Fibers: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Saint Petersburg, 2006. 370 p.
5. Dyu A.V., Sysoeva N.V., Dubovyy V.K. Novyy metod otsenki effektivnosti fil'troval'nykh materialov [New Assessment Method of Efficiency of Filter Materials]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2014, iss. 209, pp. 221–229.
6. *Konditsionirovanie. Sovremennye resheniya. Bytovoy isparitel'nyy konditsioner CD-ZYEV-06-13B* [Conditioning. Modern Solutions. Household Evaporative Air Conditioner CD-ZYEV-06-13B]. Available at: <http://www.comfort-de-luxe.ru/index-evacooling1006.html> (accessed 12.04.2017).
7. *Mariyskiy TsBK. Ofitsial'nyy sayt kompanii* [Mari Pulp and Paper Mill. Official Website of the Company]. Available at: <http://marbum.ru/produkcziya> (accessed 29.03.2017).
8. Mishnenkova M.A., Dubovyy V.K., Bezlakovskiy A.I. Vliyanie diametra steklyannykh volokon na svoystva fil'troval'nykh materialov na osnove mineral'nykh volokon [The Effect of the Glass Fibers Diameter on the Properties of Filter Materials Based on Mineral Fibers]. *Materialy 2-y mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., posvyashchennoy pamyati prof. V.I. Komarova* [Proc. 2nd Int. Sci. Techn. Conf., Dedicated to the Memory of Prof. V.I. Komarov]. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2013, pp. 128–132. (In Russ.)

9. Mishnenkova M.A., Krasikov V.D., Dubovyy V.K. Vliyanie strukturnykh nanorazmernykh kharakteristik mineral'nogo volokna na pronitsaemost' kompozitnykh fil'tratsionnykh materialov [The Effect of Structural Nanosized Characteristics of Mineral Fibers on the Permeability of Composite Filtration Materials]. *Materialy 15-y mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Vysokie tekhnologii, fundamental'nye issledovaniya, finansy»* [Proc. 15th Int. Sci. Practical Conf. "High Technologies, Basic Research, Finance"]. Saint Petersburg, 2013, pp. 186–189. (In Russ.)
10. ООО «NPP «FOLTER». *Folter – vozdushnye fil'try i pyleuloviteli* [OOO Research and Production Enterprise FOLTER. Folter – Air Filters and Dust Collectors]. Available at: <http://www.folter.ru> (accessed 12.04.2017).
11. ООО «Fil'truyushchie materialy». *Proizvodstvo vozdushnykh fil'trov* [OOO Fil'truyushchie materialy. Production of Air Filters]. Available at: <http://filtrmat.ru> (accessed 13.04.2017).
12. *Proektirovanie letnego okhlazhdeniya proizvodstvennykh pomeshcheniy. Gold Air. Adiabaticheskie isparitel'nye okhladiteli* [Designing of Summer Cooling of Industrial Premises. Gold Air. Adiabatic Evaporative Coolers]. Available at: [http://new.losevonline.ru/files/18/cold-air-calculating-manual\(1\).pdf](http://new.losevonline.ru/files/18/cold-air-calculating-manual(1).pdf) (accessed 20.04.2017).
13. Sysoeva N.V. Sovremennyye metody otsenki kachestva vozdushnykh fil'trov [Modern Methods for Assessing the Quality of Air Filters]. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy mezhdunar. konf. 10–12 sentyabrya 2013 g., Arkhangel'sk* [Problems of Mechanics of Pulp and Paper Materials: Proc. Inter. Conf. 10–12 September 2013, Arkhangelsk]. Available at: <http://paper2011.narfu.ru/upload/iblock/f6a/Sysoeva.pdf> (accessed 13.04.2017).
14. Fuks N.A. *Mekhanika aerorozoley* [Mechanics of Aerosols]. Moscow, USSR Academy of Sciences Publ., 1955. 353 p. (In Russ.)
15. *Andrew Industries Limited*. Available at: <http://www.andrewindustries.com/company/history.cfm> (accessed 25.04.2017).
16. *Eberspacher. Air Conditioning*. Available at: <https://www.eberspacher.com/en/products/air-conditioning.html> (accessed 25.04.2017).
17. *Hollingsworth and Vose*. Available at: <http://www.hollingsworth-vose.com/en> (accessed 25.04.2017).
18. *World's First Personal Air Cooler*. Available at: <https://evapolar.com> (accessed 25.04.2017).

Received on May 25, 2017

УДК 676.73

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАРТОНА, ОБРАБОТАННОГО БИОМОДИФИЦИРОВАННЫМ ГЛЮТЕНОМ*

И.В. Захаров¹, асп.

Н.Л. Захарова¹, асп.

А.В. Канарский¹, д-р техн. наук, проф.

Е.О. Окулова², асп.

Я.В. Казаков², д-р техн. наук, доц.

Д.А. Дулькин², д-р техн. наук, проф.

¹Казанский национальный исследовательский технологический университет, ул. К. Маркса, д. 68, г. Казань, Россия, 420015; e-mail: zaharvv1991@mail.ru, nlzaharova@mail.ru, alb46@mail.ru

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002; e-mail: j.kazakov@narfu.ru

Для придания прочности в сухом и влажном состояниях на волокнистые материалы наносятся традиционные полимеры (полиэтилен, полипропилен, полистирол, полиэтилентерефталат), а также в композицию вводятся формальдегидные смолы. Однако такие волокнистые материалы плохо подвергаются вторичной переработке и не подлежат экономически эффективной утилизации. В связи с этим поиск полимерных веществ для улучшения свойств волокнистых материалов весьма актуален. Цель наших исследований – разработка способа ферментативной обработки растительных белков, предназначенных для улучшения физико-механических и деформационных характеристик волокнистых материалов. В качестве растительного белка был использован глютен пшеничный, получаемый из возобновляемых источников растительного сырья. В соответствии с поставленной целью разработан биокаталитический способ обработки глютена, позволяющий получить биополимер с необходимыми реологическими свойствами и технологически пригодный для нанесения на волокнистые материалы. Показано влияние ферментных препаратов протеолитического и ксиланазного действия на физико-механические и деформационные характеристики волокнистых материалов. Применение биомодификации растительного биополимера – глютена, позволяет снижать энергозатраты на производство и получать биоразлагаемые волокнистые материалы. Практическая значимость представленной работы обусловлена заменой формальдегидных смол, используемых для производства нетканых материалов, бумаги, картона, древесноволокнистых плит, на биомодифицированные растительные полимеры. Пропитка волокнистого материала глютенем, обработанным фер-

*Статья подготовлена по материалам IV Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», посвященной памяти проф. В.И. Комарова (14–16 сент. 2017 г., г. Архангельск).

Для цитирования: Захаров И.В., Захарова Н.Л., Канарский А.В., Окулова Е.О., Казаков Я.В., Дулькин Д.А. Физико-механические свойства картона, обработанного биомодифицированным глютенем // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 135–144. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135

ментными препаратами, увеличивает прочностные и деформационные характеристики: растяжимость – до 29 %, жесткость – до 96 %, разрушающую нагрузку – до 54 %, влагопрочность – до 54 % по отношению к контрольному образцу картона. Полученные результаты показывают потенциальную возможность применения биокаталитической обработки глютена для улучшения физико-механических свойств бумаги и картона.

Ключевые слова: глютен, ферментативная обработка глютена, картон, физико-механические свойства картона.

Введение

Связующие вещества применяют для улучшения прочностных характеристик бумаги. Усиливая связи между волокнами эти вещества повышают прочность бумаги и картона, устраняют пыление и выщипывание отдельных волокон и даже целых слоев бумаги с поверхности листа при нанесении печати липкими красками, увеличивают сомкнутость бумаги, улучшают отделку поверхности бумаги на суперкаландре. Кроме того, они способствуют улучшению проклейки бумаги гидрофобизирующим клеем, делая ее более надежной и стабильной: бумага не расклеивается при хранении.

Связующие вещества могут быть введены в массу или нанесены на поверхность бумаги. Проклейка массы гораздо проще и не требует дополнительной сушки бумаги, однако расход проклеивающего вещества несколько больше, так как часть его теряется со сточными водами. Поверхностная проклейка бумаги и картона на клеильном прессе или на отдельном станке экономична, так как отсутствуют потери проклеивающего вещества. При этом бумага и картон приобретают новые положительные свойства по сравнению с проклеенными в массе. Эти материалы становятся однороднее по сторонам листа, устойчивее к изменению относительной влажности воздуха, меньше скручиваются. Однако в технологической линии после поверхностной проклейки требуется установка дополнительного оборудования для сушки. Тем не менее поверхностная проклейка бумаги и картона все шире применяется в целях улучшения свойств материалов, а клеильный пресс становится неотъемлемой частью многих современных бумагоделательных машин [4].

Поверхностная обработка крахмалом, как нативным, так и биомодифицированным, положительно сказывается на деформационных свойствах картона [7].

Один из экономически выгодных и эффективных способов повышения прочности и жесткости бумаги и картона из вторичного сырья – добавление в массу связующих веществ [10], в частности растительных белков. Число связующих материалов, применяемых в бумажном и картонном производстве, растет, появляются новые весьма эффективные синтетические материалы, обладающие высокой связующей способностью и придающие бумаге прочность не только в сухом, но и во влажном состоянии.

В работах [13–15] изучена проклейка картона растительными белками в нативном состоянии с варьированием расхода белка до 15 %. Потенциал белка как компаунда не использовался. Поэтому целесообразно исследовать биомодификацию растительных белков для снижения их расхода и повышения физико-механических характеристик картона.

В настоящее время наблюдается применение ферментных препаратов в технологии изготовления бумаги и картона. Амилазы, ксиланазы, целлюлазы, липазы, эстеразы, протеазы – все эти ферменты рекомендуются к использованию или уже используются при подготовке различных волокнистых полуфабрикатов для производства бумаги и картона [3, 6, 8, 9, 11, 12].

Прикладное значение ферментов в качестве реагентов для технологических процессов в настоящее время растет в связи с привлечением внимания к проблемам экологии производства, развитию «зеленых» технологий и биотехнологий. Поиск и применение биокатализаторов для использования в различных отраслях промышленности – главные тенденции развития современной биотехнологии. Ферменты – биокатализаторы химических процессов, представляют собой биологически активные белки, функционирующие в условиях, благоприятных для жизни организмов, из которых они выделены.

Белковая природа ферментов обеспечивает мягкие условия работы катализатора, позволяет регулировать технологический процесс, варьируя его режимные параметры, способствует ресурсо- и энергосбережению. Расширение специфичности и диапазона действия ферментных препаратов существенно повышает интерес к биокатализаторам в различных отраслях промышленности [1, 2].

Учитывая перечисленное выше, целесообразно изучать модификации растительного белка при проклейке бумаги и картона.

Цель настоящего исследования – разработка способа ферментативной обработки растительных белков, используемых в процессе пропитки волокнистых материалов, для улучшения их физико-механических и деформационных характеристик.

Для достижения цели решались следующие задачи:

приготовление компаундов на основе глютена с использованием ферментов;

определение физико-механических и деформационных характеристик картона, пропитанного глютенном, предварительно обработанным ферментами.

Объекты и методы исследования

В экспериментах использовался картон тароупаковочный толщиной 200 мкм с нанесенным покрытием на основе глютена пшеничного (ГОСТ Р 53511), обработанного ферментными препаратами протеолитического (нейтраза – 1,5 мг) и ксиланазного (пентопан моно БГ, пентопан 500 БГ, фунгамил супер АХ) действия.

Биокаталически обработанный глютен наносился на картон с варьированием расхода от 3,0 до 10,0 % (по отношению к абсолютно сухой массе картона). Получены следующие образцы (см. таблицу):

1 – пропитка в щелочной среде, расход биокаталитически обработанного нейтразой глютена – 3,0 %;

2 – пропитка в щелочной среде, расход глютена – 3,3 %, ферментный препарат – пентопан 500 БГ;

3 – пропитка в щелочной среде, расход глютена – 9,0 %, ферментный препарат – фунгамил супер АХ;

4 – пропитка в кислой среде, расход глютена – 3,3 %, ферментный препарат – пентопан моно БГ совместно с нейтразой;

5 – пропитка в кислой среде, расход глютена – 9,0 %, ферментный препарат – пентопан 500 БГ совместно с нейтразой;

6 – пропитка в кислой среде, расход глютена – 3,7 %, ферментный препарат – фунгамил супер АХ совместно с нейтразой.

Глютен, использованный для пропитки, обрабатывался ферментными препаратами в течение 24 ч при температуре 50 °С и постоянном перемешивании во встряхивателе с водяной баней. Картон в виде прямоугольника 5 × 10 см пропитывался погружением одной стороны в раствор приготовленного компаунда, при этом одна часть глютена впитывалась в структуру материала, другая – формировалась на поверхности в виде пленки.

Образцы пропитанного картона сушили контактным способом, принятым в ЦБП.

Для оценки физико-механических и деформационных свойств волокнистых материалов использовали стандартные методы. Толщину определяли микрометром в нескольких точках, за результат принимали среднее значение (ГОСТ 27015), жесткость при изгибе – на приборе Messmer Buchel 116-BD (ГОСТ ISO 2493), разрушающую нагрузку и удлинение – при обработке индикаторных диаграмм «нагрузка–удлинение», полученных при испытании на растяжение на разрывной машине «Тестсистема 101» (ГОСТ Р ИСО 1924-2 «Бумага и картон. Метод определения прочности при растяжении. Ч. 2. Метод растяжения с постоянной скоростью»), влагопрочность при кратковременном смачивании – по ГОСТ 13525.7 «Бумага и картон. Методы определения влагопрочности».

Все испытания проводили на образцах картона шириной 15 мм, вырезанных в продольном (MD) и поперечном (CD) направлениях. При испытаниях на растяжение рабочая длина образцов составляла 50 мм.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты определения деформационных и прочностных характеристик исследованных образцов в MD и CD направлениях представлены в таблице и на рисунке.

Сводная таблица характеристик образцов картона

Образец	Масса картона-основы, г	Количество нанесенного покрытия, %	Толщина, мкм	Жесткость при изгибе MD/CD, мН·см	Разрушающая нагрузка при растяжении MD/CD, Н		Разрушающее удлинение MD/CD, мм		Влагопрочность при кратковременном смачивании MD/CD, %
					сухих	влажных	сухих	влажных	
К*	2,7	–	199	3,71/1,13	178,1/76,7	61,8/23,5	1,39/3,36	0,86/2,08	34,7/30,6
1	2,71	2,95	224	–	141,3/74,1	45,9/14,7	1,36/3,07	0,87/2,47	32,5/19,9
2	2,72	3,30	216	4,78/1,63	164,3/79,3	87,7/29,7	1,35/3,22	1,11/2,59	53,4/37,4
3	2,69	8,90	219	4,46/1,38	207,7/85,4	95,4/24,8	1,35/2,71	1,05/2,11	45,9/29,0
4	2,73	3,30	226	–	162,6/74,4	59,4/27,8	1,09/3,49	0,82/2,19	36,6/37,4
5	2,69	8,90	244	4,46/1,38	154,4/72,0	27,3/7,2	0,75/3,42	0,77/2,19	17,7/10,0
6	2,64	3,70	225	7,27/–	135,7/74,6	40,3/12,0	1,06/3,51	0,79/2,05	29,7/16,1

К* – контроль.

Модификация глютена при испытании пропитанного им картона в сухом состоянии:

нейтразой (образец 1) – уменьшает прочность на разрыв и растяжимость в продольном и поперечном направлениях; дальнейшее увеличение расхода препаратов для пропитки не повышает показатели физико-механических свойств картона, однако жесткость образца, пропитанного нейтразой (3,0 %), по отношению к контрольному образцу увеличивается на 30 % в продольном и поперечном направлениях;

пентопаном 500 БГ (образец 2) – снижает прочность на разрыв и растяжимость в продольном и поперечном направлениях, дальнейшее повышение массы пропитки не приводит к увеличению показателей физико-механических свойств; жесткость при изгибе у образца, пропитанного этим препаратом (3,3 %), по отношению к контрольному образцу в продольном направлении увеличивается на 30 %, в поперечном – на 48 %;

фунгамиллом супер АХ (образец 3) – увеличивает прочность на разрыв в продольном направлении на 16,6 %, в поперечном – на 11,3 %, а также снижает растяжимость в продольном и поперечном направлениях;

пентопаном моно БГ совместно с нейтразой (образец 4) – снижает прочность на разрыв в продольном и поперечном направлениях, а также увеличивает растяжимость в поперечном направлении на 3,8 %;

фунгамиллом совместно с нейтразой (образец 6) – повышает прочность на разрыв и растяжимость в продольном и поперечном направлениях.

Модификация глютена при испытании пропитанного им картона во влажном состоянии:

нейтразой (образец 1) – уменьшает прочность на разрыв при увеличении растяжимости в поперечном направлении (на 18 %);

пентопаном 500 БГ (образец 2) – повышает прочность на разрыв в продольном и поперечном направлениях на 42 и 26 %, растяжимость – соответственно на 29 и 24 %, влагопрочность при кратковременном смачивании – соответственно на 54 и 22 %;

фунгамиллом супер АХ (образец 3) – увеличивает прочность на разрыв в продольном и поперечном направлениях на 54,4 и 5,6 %, растяжимость в продольном направлении – на 22 %, влагопрочность при кратковременном смачивании – на 32 % в продольном направлении, жесткость при изгибе в продольном и поперечном направлениях – соответственно на 25,8 и 44,0 %;

пентопаном моно БГ совместно с нейтралой (образец 4) – приводит к росту прочности на разрыв в поперечном направлении на 18,7 %, растяжимости в поперечном направлении – на 5 %, влагопрочности при кратковременном смачивании – в продольном и поперечном направлениях соответственно на 5,3 и 22,4 %;

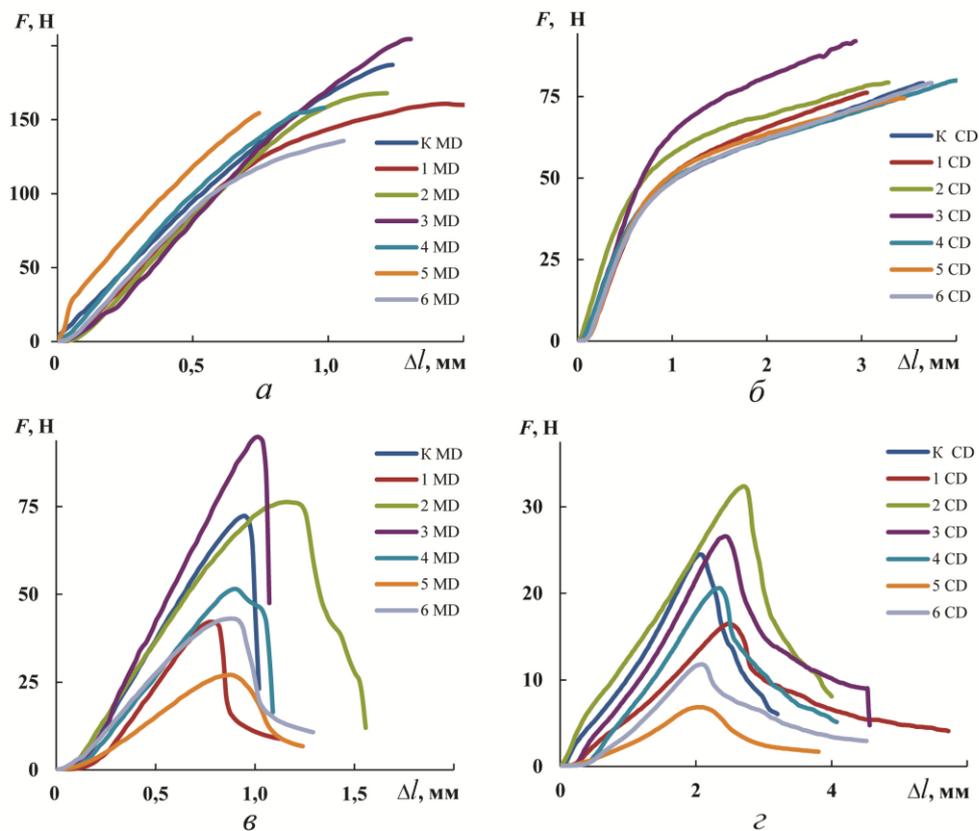
пентопаном 500 БГ совместно с нейтралой (образец 5) – приводит к чрезмерному (в 3 раза) уменьшению прочности на разрыв и растяжимости в продольном и поперечном направлениях при испытании картона во влажном состоянии, однако жесткость при изгибе в продольном и в поперечном направлениях увеличивается на 20 %;

фунгамиллом совместно с нейтралой (образец 6) – приводит к чрезмерному (в 2 раза) снижению прочности на разрыв и растяжимости в продольном и поперечном направлениях при испытании картона во влажном состоянии, однако жесткость при изгибе в продольном направлении повышается на 96 %.

Следует отметить, что использование растворов пропитки, приготовленных в кислой среде, не дает положительных результатов, кроме увеличения жесткости образцов.

Деформационные свойства материала характеризуют графики зависимости нагрузки от удлинения (см. рисунок), полученные и обработанные по методике Комарова–Казакова [5]. На рисунке показаны средние зависимости нагрузки от удлинения.

Анализ диаграмм позволяет сделать вывод о том, что пропитка глютенном изменяет характер деформирования картона. Жесткость непропитанного картона обеспечивается межволоконными силами связи и жесткостью фиксации волокон в структуре. Поэтому для макулатурных образцов максимальная жесткость отмечена не в начале кривой деформирования, а после распрямления волокон. Структура картона, пропитанного глютенном и содержащего на поверхности белковую пленку, гарантирует повышенную жесткость при растяжении уже на начальном участке деформирования за счет увеличения количества водородных связей между волокнами целлюлозы и глютенном. Дополнительный вклад в жесткость структуры вносит белковая пленка на поверхности картона, после разрушения которой при деформациях выше 0,1 мм резко снижается жесткость образцов, что выражается в уменьшении угла наклона кривых деформирования.



Графики зависимости «нагрузка–удлинение», полученные при испытании на растяжение образцов картона, пропитанного модифицированным глютенем: *a, б* – сухие образцы; *в, г* – влажные образцы; *a, в* – в продольном направлении; *б, г* – в поперечном направлении

Заключение

Таким образом, пропитка картона компаундом на основе глютена, предварительно обработанного фунгицилом супер АХ и пентопаном 500 БГ, по сравнению с использованием других ферментных препаратов позволяет в наибольшей степени улучшить деформационные и прочностные характеристики картона.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болотова К.С., Новожилов Е.В. Применение ферментных технологий для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажного производства // Химия растительного сырья. 2015. № 3. С. 5–23.
2. Захаров И.В., Канарский А.В., Сидоров Ю.Д. Влияние сшивателей на температуру размягчения биоразлагаемых пленочных материалов на основе крахмала // Вестн. Казан. технол. ун-та. 2016. Т. 19, № 16. С. 108–111.

3. Захаров И.В., Михайлова О.С., Захарова Н.Л., Канарский А.В., Казаков Я.В. Применение биомодифицированных полисахаридов и растительных белков в производстве волокнистых материалов // Биотехнологии: состояние и перспективы развития: материалы IX Междунар. конгресса. Т 2. М., 2017. С. 234–236.
4. Иванов С.Н. Технология бумаги. 3-е изд. М., 2006. 696 с.
5. Комаров В.И., Казаков Я.В. Анализ механического поведения целлюлозно-бумажных материалов при приложении растягивающей нагрузки // Вестн. МГУЛ–Лесн. вестн. 2000. № 3(12). С. 52–62.
6. Медведева С.А., Тимофеева С.А. Биотехнологии для повышения экологической безопасности целлюлозно-бумажной промышленности (Современное состояние) // Безопасность в техносфере. 2013. Т. 2, № 3. С. 28–34.
7. Михайлова О.С., Крякунова Е.В., Канарский А.В., Казаков Я.В., Манахова Т.Н., Дулькин Д.А. Влияние биомодифицированного картофельного крахмала на деформационные и прочностные свойства картона // Лесн. журн. 2016. № 4. С. 157–164. (Изв. высш. учеб. заведений).
8. Новожилев Е.В. Применение ферментных технологий в целлюлозно-бумажной промышленности: моногр. Архангельск: САФУ, 2013. 364 с.
9. Новожилев Е.В., Пошина Д.Н. Биотехнологии в производстве целлюлозы для химической переработки (Обзор) // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 15–32.
10. Фляте Д.М. Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 440 с.
11. Vajpai P. *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*. Boston, USA: Springer, 2012. 414 p.
12. *Enzymes in Industry: Production and Applications* / by ed Aehle W. Weinheim, Germany: Wiley-VCH Verlag, 2004. 484 p.
13. Gällstedt M., Brottman A., Hedenqvist M.S. Packaging-Related Properties of Protein- and Chitosan-Coated Paper // *Packaging Technology and Science*. 2005. Vol. 18, iss. 4. Pp. 161–170.
14. Khwaldia K., Arab-Tehrany E., Desobry S. Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2010. Vol. 9, iss. 1. Pp. 82–91.
15. Protein and Starch Surface Sizings for Oil and Grease Resistant Paper: pat. US 6790270 B1, 2003 / Billmers R.L., Mackewicz V.L., Trksak R.M.

Поступила 16.09.17

UDC 676.73

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135

Physical and Mechanical Properties of Cardboard Processed by Biomodified Gluten

I.V. Zakharov¹, Postgraduate Student

N.L. Zakharova¹, Postgraduate Student

A.V. Kanarskiy¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor

E.O. Okulova², Postgraduate Student

Ya.V. Kazakov², Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

D.A. Dul'kin², Doctor of Engineering Sciences, Professor

For citation: Zakharov I.V., Zakharova N.L., Kanarskiy A.V., Okulova E.O., Kazakov Ya.V., Dul'kin D.A. Physical and Mechanical Properties of Cardboard Processed by Biomodified Gluten. Lesnoy zhurnal [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 135–144. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.135

¹Kazan National Research Technological University, ul. K. Marksa, 68, Kazan, 420015, Russian Federation; e-mail: zaharvv1991@mail.ru, nlzaharova@mail.ru, alb46@mail.ru

²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation; e-mail: j.kazakov@narfu.ru

Traditional plastics (polyethylene, polypropylene, polystyrene, polyethylene terephthalate) are usually applied to reinforce fibrous materials in dry and wet conditions, and formaldehyde resins are also introduced into the composition. However, such fibrous materials are not easily recycled and are not subject to cost-effective disposal. In this regard, the search for polymeric substances to improve the properties of fibrous materials is very relevant. The goal of research is to develop a method for enzymatic treatment of plant proteins to improve the physical and mechanical and deformation characteristics of fibrous materials. We use wheat gluten, obtained from renewable sources of plant raw materials, as plant protein. In accordance with the goal, a biocatalytic method for treating gluten is developed. This mechanism allows obtaining a biopolymer with the necessary rheological properties, which is technologically suitable for application to fibrous materials. The effect of enzymatic preparations of proteolytic and xylanase action on the physical and mechanical and deformation characteristics of fibrous materials is demonstrated. Biomodification of plant biopolymer – gluten, allows reducing energy consumption and producing biodegradable fibrous materials. The practical importance of the article is due to the replacement of formaldehyde resins used for the production of nonwovens, paper, cardboard, fiberboard with biomodified plant polymers. Gluten impregnation of fibrous material, treated with enzyme preparations, increases the strength and deformation characteristics: extensibility – up to 29 %, stiffness – up to 96 %, crippling load – up to 54 %, wet-strength – up to 54 % in comparison with check samples. The obtained results show the potential application of gluten biocatalytic treatment to improve the physical and mechanical properties of paper and cardboard.

Keywords: gluten, enzymatic treatment of gluten, cardboard, physical and mechanical properties of cardboard.

REFERENCES

1. Bolotova K.S., Novozhilov E.V. Primenenie fermentnykh tekhnologiy dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva [Enzymes Application for Improving Ecological Safety of Pulp and Paper Industry]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2015, no. 3, pp. 5–23.
2. Zakharov I.V., Kanarskiy A.V., Sidorov Yu.D. Vliyanie sshivateley na temperaturu razmyagcheniya biorazlagaemykh plenochnykh materialov na osnove krakhmala [Effect of Crosslinkers on the Softening Temperature of Biodegradable Film Materials Based on Starch]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2016, vol. 19, no. 16, pp. 108–111.
3. Zakharov I.V., Mikhaylova O.S., Zakharova N.L., Kanarskiy A.V., Kazakov Ya.V. Primenenie biomodifitsirovannykh polisakharidov i rastitel'nykh belkov v proizvodstve volknistykh materialov [Application of Biomodified Polysaccharides and Plant Proteins in the Production of Fibrous Materials]. *Biotekhnologii: sostoyanie i perspektivy razvitiya: materialy IX Mezhdunar. kongressa* [Biotechnologies: State and Prospects of Development: Proc. 9th Intern. Congress]. Moscow, 2017, vol. 2, pp. 234–236. (In Russ.)
4. Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow, 2006. 696 p. (In Russ.)

5. Komarov V.I., Kazakov Ya.V. Analiz mekhanicheskogo povedeniya tsellyulozno-bumazhnykh materialov pri prilozhenii rastyagivayushchey nagruzki [Analysis of Mechanics of Pulp and Paper Materials when Applying a Tensile Load]. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik* [Forestry Bulletin], 2000, no. 3, pp. 52–62.
6. Medvedeva S.A., Timofeeva S.A. Biotekhnologii dlya povysheniya ekologicheskoy bezopasnosti tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti (Sovremennoe sostoyanie) [Biotechnologies for Improvement of Environmental Safety Related to Pulp and Paper Industry (Actual Status)]. *Bezopasnost' v tekhnosfere* [Safety in Technosphere], 2013, vol. 2, no. 3, pp. 28–34.
7. Mikhaylova O.S., Kryakunova E.V., Kanarskiy A.V., Kazakov Ya.V., Manakhova T.N., Dul'kin D.A. Vliyanie biomodifitsirovannogo kartofel'nogo krakhmala na deformatsionnye i prochnostnye svoystva kartona [The Influence of Modified Potato Starch on the Cardboard Deformation and Strength Properties]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2016, no. 4, pp. 157–164.
8. Novozhilov E.V. *Primenenie fermentnykh tekhnologiy v tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Application of Enzymatic Technologies in the Pulp and Paper Industry]. Arkhangel'sk, NArFU Publ., 2013. 364 p. (In Russ.)
9. Novozhilov E.V., Poshina D.N. Biotekhnologii v proizvodstve tsellyulozy dlya khimicheskoy pererabotki (obzor) [Biotechnologies in the Cellulose Production for Chemical Processing (a Review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2011, no. 3, pp. 15–32.
10. Flyate D.M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 440 p. (In Russ.)
11. Bajpai P. *Biotechnology for Pulp and Paper Processing*. Boston, USA, Springer, 2012. 414 p.
12. Aehle W., ed. *Enzymes in Industry: Production and Applications*. Weinheim, Germany, Wiley-VCH Verlag, 2004. 484 p.
13. Gällstedt M., Brottman A., Hedenqvist M.S. Packaging-Related Properties of Protein- and Chitosan-Coated Paper. *Packaging Technology and Science*, 2005, vol. 18, iss. 4, pp. 161–170.
14. Khwaldia K., Arab-Tehrany E., Desobry S. Biopolymer Coatings on Paper Packaging Materials. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 2010, vol. 9, iss. 1, pp. 82–91.
15. Billmers R.L., Mackewicz V.L., Trksak R.M. *Protein and Starch Surface Sizings for Oil and Grease Resistant Paper*. Patent US 6790270 B1, 2003.

Received on September 16, 2017

УДК 676.154.6

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.145

ПЕРЕРАБОТКА ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ ВЫСОКОГО ВЫХОДА*

В.Н. Иванова, асп.

Д.Ю. Уварова, асп.

Л.Г. Махотина, д-р техн. наук, доц.

Э.Л. Аким, д-р техн. наук, проф.

¹Высшая школа технологии и энергетики Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна, ул. Ивана Черных, д. 4, Санкт-Петербург, Россия, 198095; e-mail: tckm.gturp@mail.ru

Биомасса дерева является не только сырьем, но и источником энергии, поэтому рациональное использование лесных ресурсов – одна из задач, стоящих перед производителями. Повышение спроса на «зеленые» технологии приводит к поиску новых путей глубокой переработки древесины и волокнистых полуфабрикатов на ее основе. В связи с этим актуальны исследования в области получения порошковых микроструктурированных целлюлоз из волокнистых полуфабрикатов, содержащих существенное количество лигнина, – химико-термомеханической массы из древесины ели и осины. Для получения порошковых целлюлоз были использованы модифицированные методики, в основе которых классические схемы гидролиза целлюлозы. Установлено, что наиболее мелкодисперсный образец с высоким содержанием порошковой целлюлозы получен при обработке соляной кислотой беленой химико-термомеханической массы из осины.

Ключевые слова: порошковая целлюлоза, волокнистые полуфабрикаты высокого выхода, глубокая переработка древесины, химико-термомеханическая масса.

Введение

В современных рыночных условиях устойчивое развитие промышленности предполагает создание высокотехнологичной наукоемкой продукции с высокой добавленной стоимостью. Целлюлозно-бумажная промышленность (ЦБП) не является исключением в мировой тенденции. Биомасса дерева используется не только как сырье, но и как источник энергии, поэтому рациональное применение лесных ресурсов за счет глубокой переработки древесины, сокращения отходов ЦБП – актуальнейшая задача для производителей многих стран.

*Статья подготовлена по материалам IV Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», посвященной памяти проф. В.И. Комарова (Архангельск, 14–16 сент. 2017 г.).

Для цитирования: Иванова В.Н., Уварова Д.Ю., Махотина Л.Г., Аким Э.Л. Переработка волокнистых полуфабрикатов высокого выхода // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 145–150. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.145

Один из продуктов глубокой переработки древесины – порошковая целлюлоза (ПЦ). Схемы получения порошковых и микрокристаллических видов целлюлозы обычно включают в себя стадию кислотного гидролиза [2]. В качестве природных волокнистых полуфабрикатов для ее производства в основном используют древесную и хлопковую целлюлозу, а также целлюлозу из жома однолетних растений [1].

Перспективным видом древесных волокнистых полуфабрикатов (ВПФ) является беленая химико-термомеханическая масса (БХТММ), выход которой составляет свыше 85 %. Так, в Китае на 34 предприятиях ЦБП работают более 50 технологических линий по выпуску ВПФ общей производительностью 10,73 млн т в год. На 25 из них БХТММ получают из древесины тополя или из смеси тополя и эвкалипта [10].

В основном БХТММ используют для изготовления газетных и белых видов бумаги для печати, а также в композиции тароупаковочных видов картона. Поскольку спрос на печатные виды бумаги снижается, а мировое производство ВПФ высокого выхода (в первую очередь в Китае) увеличивается, необходимо изучить возможности расширения областей применения этих полуфабрикатов [3].

Анализ литературных данных показал, что исследования в области глубокой переработки ВПФ высокого выхода практически отсутствуют [4, 5]. В связи с этим изучение процесса получения полуцеллюлозы из товарных видов БХТММ актуально.

Объекты и методы исследования

В качестве сырья использовали товарную БХТММ из древесины ели и осины по технологии фирмы «Metso». Обработку исходных образцов БХТММ осуществляли по модифицированной методике получения микрокристаллической целлюлозы (МКЦ), изложенной в экспериментах О. Батисты, а также по методике, основанной на сернокислом гидролизе [7–9].

Процесс гидролиза образцов ВПФ производили в соляной (или серной) кислоте (концентрация – 2,5 моль/л). Реакционную смесь нагревали до температуры 100 °С на глицериновой бане, периодически перемешивая (гидро модуль = 1 : 15; продолжительность процесса – 1 ч).

Морфологические характеристики препаратов ПЦ (длина и ширина волокна, количество мелкого (длиной менее 200 мкм) волокна, индекс фибрилляции, доля рубленых волокон и др.), полученных при обработке исходных ВПФ, определяли на анализаторе волокна Morfi Compact.

Химические свойства устанавливали в соответствии с методиками анализа древесины и целлюлозы, основанными на классических методах органической химии [6].

Среднюю степень полимеризации (СП) целлюлозы (общую целлюлозу) определяли на образцах, полученных из БХТММ азотно-спиртовым методом Кюршнера, содержание лигнина – по сернокислому методу Класона, содер-

жание легкогидролизуемых полисахаридов (ЛГП) – по методу Макэна и Шоорля [6].

Установлено, что в исходных образцах БХТММ из ели СП составляет 600, из осины – 500; содержание лигнина – соответственно 33 и 21 %, содержание ЛГП – соответственно 4 и 12 %.

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1, 2 представлены результаты анализа свойств образцов ВПФ из древесины ели и осины до и после обработки с использованием водных растворов соляной и серной кислот.

Таблица 1

Содержание (%) общей целлюлозы в образцах ВПФ из древесины ели и осины

Древесина	БХТММ	Образцы ПЦ, полученные обработкой БХТММ кислотой	
		соляной	серной
Ель	67,0	65,0	70,0
Осина	60,0	74,2	75,4

Значительное увеличение процентного содержания общей целлюлозы (табл. 1) в образце ПЦ, полученной из БХТММ древесины осины при обработке с использованием как соляной, так и серной кислот, вероятно, является следствием растворения легкогидролизуемой части полисахаридов (гемицеллюлоз, водорастворимых полисахаридов и др.), которые, как показали наши исследования, в большем количестве содержатся в осиновой БХТММ.

Таблица 2

Морфологические свойства образцов ВПФ из древесины ели (числитель) и осины (знаменатель)

Показатель	БХТММ	Образцы ПЦ, полученные обработкой БХТММ кислотой	
		соляной	серной
Длина крупноволокнистой фракции, мкм	1187/798	447/306	589/369
Ширина фракции, мкм	31,0/27,0	37,4/34,9	35,7/30,5
Индекс фибрилляции, %	1,570/1,190	0,841/0,683	1,870/0,512
Доля волокнистой фракции менее 200 мкм, %	14,0/14,3	46,0/84,0	24,3/57,0

Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что в процессе обработки образцов кислотой морфология волокна существенно изменяется: значительно уменьшается длина основной волокнистой фракции и увеличивается содержание мелкодисперсной фракции. Для ПЦ, полученной обработкой соляной кислотой БХТММ из ели, содержание фракции менее 200 мкм воз-

росло в 3,3 раза, в случае обработки серной кислотой – только в 1,7 раза, для ПЦ из осины – соответственно в 5,9 и 4,0 раза. Индекс фибрилляции для ПЦ, полученной обработкой соляной кислотой БХТММ из ели, уменьшился практически в 2 раза, в случае обработки серной кислотой – увеличился в 1,2 раза, для ПЦ из осины – соответственно в 1,7 и 2,2 раза. Средние значения СП всех исследуемых образцов снизились в несколько раз.

Такой характер влияния водных растворов кислот объясняется гидролитической деструкцией, в результате которой происходит разрушение волокон, растворение низкомолекулярных фракций целлюлозы, гемицеллюлоз и деструктурированного лигнина. Целлюлоза теряет волокнистую структуру и превращается в порошок [1].

Как показал суммарный анализ данных, наиболее мелкодисперсный образец порошковой целлюлозы с размером частиц 306 мкм, содержащий 84 % частиц менее 200 мкм, получен при обработке соляной кислотой образца БХТММ из осины.

Можно предположить, что это связано с тем, что средняя СП и длина волокон целлюлозы в исходном образце БХТММ из древесины осины меньше, чем в образце из ели. Кроме того, в исходном образце БХТММ из осины содержится меньшее количество лигнина, сетчатая структура и функциональная активность которого оказывают негативное влияние на динамику гидролиза целлюлозы. Известно [7], что каталитическая активность соляной кислоты превышает таковую у серной кислоты в реакциях гидролиза целлюлозы. Необходимо отметить, что при обработке соляной кислотой образцы БХТММ из осины темнеют.

Заключение

Показана возможность получения порошковых микроструктурированных целлюлоз из беленых древесных волокнистых полуфабрикатов высокого выхода. Наиболее мелкодисперсный образец с высоким содержанием порошковой целлюлозы получен при обработке соляной кислотой БХТММ из осины.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аутлов С.А., Базарнова Н.Г., Куинир Е.Ю. Микрокристаллическая целлюлоза: структура, свойства и области применения // Химия растительного сырья. 2013. № 3. С. 33–41.
2. Баттиста О.А. Микрокристаллическая целлюлоза // Целлюлоза и ее производные: пер. с англ. под ред. Н. Байклза и Л. Сегала. Т. 2. М., 1974. С. 412–421.
3. Ежегодный обзор рынка лесных товаров. 2013–2014 гг. Женева, 2014. 144 с. ISBN 978-92-1-117081-8, ISSN 1020-2269.
4. Иванова В.Н., Махотина Л.Г. Исследование возможности получения порошковой целлюлозы из древесной (механической) массы // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2016. № 10. С. 54–57.

5. Махотина Л.Г., Иванова В.Н. Исследование влияния технологических параметров получения порошковой целлюлозы на ее свойства // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2016. № 10. С. 58–59.

6. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие для вузов. М.: Экология, 1991. 320 с.

7. Battista O.A. Colloidal Macromolecular Phenomena // American Scientist. 1965. Vol. 53, no. 2. Pp. 151–173.

8. Battista O.A., Smith P.A. Microcrystalline Cellulose // Industr. Eng. Chem. 1962. Vol. 54(9), Pp. 20–29.

9. Gong G., Mathew A.P., Oksman K. Preparation of Nanocellulose with High Aspect Ratio from Wood // Proc. 4th Sci. Conf. Lulea University of Technology, 25 November 2009. Sweden: Lulea University of Technology Publ., 2009. 16 p.

10. International Poplar Commission. Country Reports of the People's Republic of China // Poplar Special Commission, Chinese Society of Forestry; Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry, 2016.

Поступила 16.09.17

UDC 676.154.6

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.145

High-Yield Pulp Processing

V.N. Ivanova, Postgraduate Student

D.Yu. Uvarova, Postgraduate Student

L.G. Makhotina, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor

E.L. Akim, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Higher School of Technology and Energy, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design, ul. Ivana Chernykh, 4, Saint Petersburg, 198095, Russian Federation; e-mail: tckm.gturp@mail.ru

Tree biomass is not only a raw material, but also a source of energy. Therefore, rational use of forest resources is one of the tasks facing producers. The increased demand for green technologies leads to the looking for new ways of added-value wood processing and wood pulp on its basis. In this connection, the studies of production of microstructured powdered celluloses from wood pulp containing a substantial amount of lignin – Chemico-Thermomechanical Pulping from spruce and aspen wood, are relevant. We use the modified procedures based on the classical schemes of hydrolysis of cellulose for the production of powdered celluloses. The most finely dispersed sample with a high content of powdered cellulose is obtained by hydrochloric acid treatment of aspen Bleached Chemico-Thermomechanical Pulping.

Keywords: powdered cellulose, high-yield pulp, added-value wood processing, Chemico-Thermomechanical Pulping.

For citation: Ivanova V.N., Uvarova D.Yu., Makhotina L.G., Akim E.L. High-Yield Pulp Processing. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 145–150. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.145

REFERENCES

1. Autlov S.A., Bazarnova N.G., Kushnir E.Yu. Mikrokrystallicheskaya tsellyuloza: struktura, svoystva i oblasti primeneniya [Microcrystalline Cellulose. Structure, Properties and Applications (Review)]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of Plant Raw Material], 2013, no. 3, pp. 33–41.
2. Battista O.A. Microcrystalline Cellulose. *Cellulose and Cellulose Derivatives*. Ed. by N.M. Bikales, L. Segal. Vol. 2. New York, London, Sydney, Toronto, Wiley Interscience, 1971 (Russ. ed.: Z.A. Rogovin. *Tsellyuloza i ee proizvodnye. T. 2*. Moscow, Mir Publ., 1974, pp. 412–421).
3. Forest Products Annual Market Review 2013–2014. *UNECE/FAO Geneva Timber and Forest Study Paper 36*. Geneva, Switzerland, 2014. 144 p. ISBN 978-92-1-117081-8, ISSN 1020-2269.
4. Ivanova V.N., Makhotina L.G. Issledovanie vozmozhnosti polucheniya poroshkovoy tsellyulozy iz drevesnoy (mekhanicheskoy) massy [Powdered Cellulose Obtaining from Wood (Mechanical) Mass]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2016, no. 10, pp. 54–57.
5. Makhotina L.G., Ivanova V.N. Issledovanie vliyaniya tekhnologicheskikh parametrov polucheniya poroshkovoy tsellyulozy na ee svoystva [The Influence of Technological Parameters of the Powdered Cellulose Production on Its Properties]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2016, no. 10, pp. 58–59.
6. Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory Work on Wood and Cellulose Chemistry]. Moscow, Ekologiya Publ., 1991. 320 p. (In Russ.)
7. Battista O.A. Colloidal Macromolecular Phenomena. *American Scientist*, 1965, vol. 53, no. 2, pp. 151–173.
8. Battista O.A., Smith P.A. Microcrystalline Cellulose. *Industrial and Engineering Chemistry*, 1962, no. 54(9), pp. 20–29.
9. Gong G., Mathew A.P., Oksman K. Preparation of Nanocellulose with High Aspect Ratio from Wood. *Proc. 4th Sci. Conf. Lulea University of Technology, 25 November 2009*. Sweden, Lulea University of Technology Publ., 2009. 16 p.
10. International Poplar Commission. Country Reports of the People's Republic of China. *Poplar Special Commission, Chinese Society of Forestry. Research Institute of Forestry, Chinese Academy of Forestry*, 2016.

Received on September 16, 2017

УДК 699.865
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.151

ПОЛУЧЕНИЕ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ВОЛОКНА*

С.Г. Лучинкин, асп.

В.А. Кожухов, канд. техн. наук

Ю.Д. Алашкевич, д-р техн. наук, проф.

Сибирский государственный университет науки и технологии им. академика
М.Ф. Решетнёва, пр. Мира, д. 82, г. Красноярск, Россия, 660049;
e-mail: vkozuhkov@mail.ru

Основное направление развития производства строительных материалов – получение материалов, обеспечивающих экономию энергетических ресурсов, включая снижение потерь тепла через ограждающие конструкции зданий, сооружений и технологического оборудования. Однако большая часть изоляционных материалов обладает рядом недостатков, среди которых можно выделить невысокую теплостойкость, повышенную горючесть, наличие в их составе вредных компонентов, которые загрязняют окружающую среду. Существует проблема утилизации отходов при производстве и эксплуатации этих материалов, а также высоки затраты электроэнергии на их производство. Актуальность исследования заключается в необходимости разработки на основе вторичного целлюлозного волокна эффективного материала, обладающего необходимыми теплоизолирующими и эксплуатационными свойствами, и создание на его основе энергосберегающей технологии производства негорючих тепло- и звукоизоляционных материалов. Цель работы – разработка технологии изготовления тепло- и звукоизоляционного материала на основе измельченной бумажной макулатуры и негорючих наполнителей, борной кислоты и буры. По результатам исследований предложена новая технологическая схема производства целлюлозного утеплителя с системой 3-ступенчатого дробления с двойным воздушным вытягиванием и впусиванием волокон, позволившая получить материал с меньшей плотностью и повышенной энергетической эффективностью. Экспериментально определены основные эксплуатационные характеристики нового материала (коэффициенты теплопроводности и паропроницаемости, сорбционная и равновесная сорбционная влажность, водородный показатель). Полученные нами результаты, свидетельствующие об улучшении большинства теплофизических показателей целлюлозного тепло- и звукоизоляционного материала по сравнению с известными аналогами, могут быть использованы при проектировании и строительстве промышленных и жилых зданий и сооружений.

Ключевые слова: целлюлозный материал, утеплитель, размол, тепло- и звукоизоляция, теплопроводность, сорбционная влажность.

*Статья подготовлена по материалам IV Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», посвященной памяти проф. В.И. Комарова (Архангельск, 14–16 сент. 2017 г.).

Для цитирования: Лучинкин С.Г., Кожухов В.А., Алашкевич Ю.Д. Получение теплоизоляционных материалов на основе вторичного целлюлозного волокна // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 151–159. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.151

Введение

Основным направлением экономического и социального развития в условиях энергетического кризиса во всем мире и в России является – производство эффективных строительных материалов и экономия топливно-энергетических ресурсов, что предполагает минимизацию тепловых потерь через ограждающие конструкции зданий, сооружений и технологического оборудования [1].

Основной путь снижения энергозатрат на отопление зданий – повышение термического сопротивления ограждающих конструкций с помощью теплоизоляционных материалов. Подсчитано, что 1 м³ теплоизоляции экономит 1,4...1,6 т условного топлива в год [8].

Эти проблемы позволяет решать современный, экологически чистый целлюлозный тепло- и звукоизоляционный материал (эковата). В мировой практике утеплитель на основе целлюлозных волокон, получаемый при переработке вторичного бумажного сырья, используется уже более 80 лет [11]. Высокая теплоизолирующая способность и отсутствие тепловых швов исключают образование «мостиков холода», обеспечивая максимальную теплоизоляционную способность. Однако в связи с негативными тенденциями в мировой и российской экономике постоянно ведется работа по созданию более экономичных и эффективных современных тепло- и звукоизоляционных материалов [9].

В связи с этим исследования, направленные на получение целлюлозного тепло- и звукоизоляционного материала с улучшенными свойствами, становятся актуальными.

Объекты и методы исследования

Исследования проводили на базе Испытательного центра «Красстрой», АО «Красноярский ПромстройНИИпроект».

Объектом исследования являлась легкая пушистая целлюлозная вата (фибриллированная бумажная макулатура) с добавками борной кислоты и буры.

Теплопроводность образцов определяли по методике [4] на измерителе теплопроводности ИТП-МГ-4 «250/Зонд» при средней температуре образца 25 °С. Теплопроводность измеряли на образцах в сухом состоянии и при двух значениях влажности, близких к влажности при условиях эксплуатации А и Б. Расчетные значения теплопроводности в условиях А и Б определяли по [5]. Целлюлозную вату с добавками испытывали в форме размером 250×250×30 мм.

Исследования коэффициента паропроницаемости проводили методом «мокрой чашки» [6] при следующих условиях: температура воздуха в камере 23 °С, относительная влажность воздуха 51 %. Испытания выполняли на образцах, засыпанных в цилиндрические формы диаметром 100 мм и высотой 40 мм. Количество образцов каждой марки – 5 шт.

Сорбционную влажность ускоренным методом определяли по [3]. Образцы (массой 5 г в количестве 3 шт.) выдерживали в эксикаторе над водой в течение 72 ч при температуре воздуха в помещении 20 °С.

Равновесную сорбционную влажность устанавливали в 3-кратной повторности [7] при температуре и влажности воздуха 20 °С и 57 %. Масса образца – 3 г.

Для определения водородного показателя (рН) водной вытяжки [2] целлюлозного тепло- и звукоизоляционного материала использовали навески массой 40 г.

Результаты исследования и их обсуждение

При рассмотрении используемых для получения целлюлозного утеплителя технологических решений были сделаны выводы о таких недостатках в их компоновке, как излишняя громоздкость и металлоемкость, высокий удельный расход электроэнергии на измельчение и транспортировку материала.

В связи с этим предложено оригинальное решение – совместить устройства пневмотранспорта материала (вентиляторы) с размольными устройствами (вихревыми дробилками), что позволит в одном аппарате производить фибрилляцию волокон целлюлозного материала и его транспортировку (рис. 1).

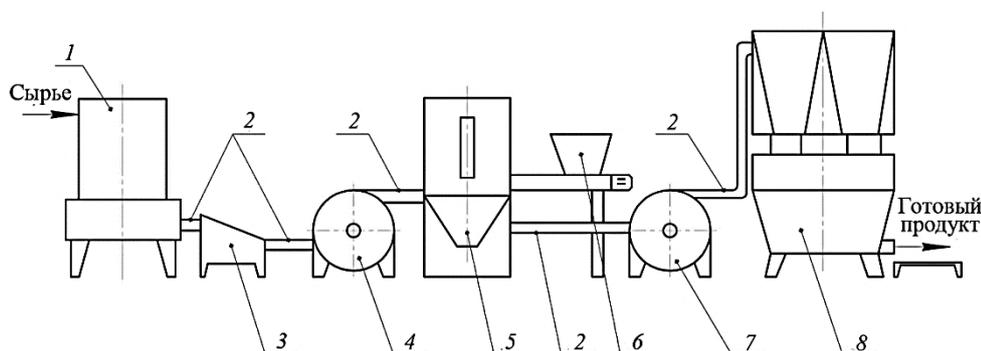


Рис. 1. Технологическая схема производства целлюлозного утеплителя с системой 3-ступенчатого дробления с двойным воздушным вытягиванием и вдушиванием волокон: 1 – шредер; 2 – трубопроводы; 3 – бункер-уловитель; 4, 7 – вихревые дробилки; 5 – камера смешивания боратов; 6 – дозатор подачи боратов; 8 – упаковка с аспирацией

Макулатура, являющаяся сырьем для получения тепло- и звукоизоляционного утеплителя, подается в шредер специально разработанной конструкции для измельчения газетной макулатуры, где в отличие от большинства подобных схем подача макулатуры производится пачками, а не отдельными листами, по гибким трубопроводам. Вентиляционными установками измельченный материал перемещается в бункер-уловитель железа и инородных предметов, откуда он поступает в вихревую дробилку грубого помола, где происходит измельчение материала до размеров крупного сита (15 мм), и подается в камеру смешивания с химическими компонентами в турбулентном потоке воздуха.

В обычной технологии химические компоненты просто высыпаются на конвейер с макулатурой. В разработанной технологии дозировка подачи химических компонентов осуществляется с помощью частотного преобразователя, что позволяет производить точную регулировку количества добавляемых химических реагентов. После смешивания с реагентами материал поступает в вихревую дробилку (7) тонкого помола (мелкое сито – 5 мм), а далее в систему аспирации и упаковки готового продукта.

В качестве основных показателей, характеризующих свойства исследуемого целлюлозного утеплителя, были выбраны теплопроводность, паропроницаемость, сорбционная влажность, равновесная сорбционная влажность, рН.

Исследуемый целлюлозный тепло- и звукоизоляционный материал обладает высокими теплоизоляционными свойствами благодаря низкому коэффициенту теплопроводности – 0,037...0,039 Вт/(м·°С) для сухого материала. Результаты испытаний представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний на теплопроводность образцов утеплителя с разной плотностью

Плотность материала, кг/м ³	Номер образца	Коэффициент теплопроводности образца, Вт/(м·°С)		
		сухого	при условиях эксплуатации	
			А	Б
30	1	0,040	0,041	0,064
	2	0,040	0,043	0,069
	3	0,039	0,043	0,062
	4	0,038	0,042	0,067
	5	0,039	0,041	0,066
	Среднее значение	0,039	0,042	0,066
40	1	0,040	0,048	0,073
	2	0,038	0,042	0,070
	3	0,039	0,042	0,071
	4	0,038	0,044	0,072
	5	0,037	0,046	0,071
	Среднее значение	0,038	0,044	0,071
50	1	0,041	0,048	0,076
	2	0,040	0,047	0,072
	3	0,038	0,049	0,080
	4	0,039	0,048	0,079
	5	0,038	0,050	0,074
	Среднее значение	0,039	0,048	0,076

При утеплении любым материалом образуются стыковые пустоты, что влечет за собой потери тепла и дополнительные затраты электроэнергии. В отличие от других утеплителей предложенный целлюлозный тепло- и звукоизоляционный материал полностью заполняет все пустоты, швы, пазухи,

карманы, устраняя потери тепла и обеспечивая максимальную изоляционную способность. Его средняя теплопроводность составляет 0,038 Вт/(м·°С). Средний показатель для аналогичного материала (эковаты) – 0,042 Вт/(м·°С) при разбросе от 0,039 до 0,045 Вт/(м·°С). Снижение теплопроводности на 10 % позволит увеличить энергетическую эффективность сооружения и уменьшить эксплуатационные расходы.

Коэффициент паропроницаемости целлюлозного утеплителя (табл. 2) необходим для расчета его влажностного состояния в ограждающих конструкциях зданий.

Таблица 2

Коэффициент паропроницаемости (мг/(м·ч·Па)) образцов утеплителя с разной плотностью (период испытания – с 05.06 по 28.06. 2017 г.)

Номер образца	Средняя плотностью, кг/м ³		
	30	40	50
1	0,67	0,69	0,74
2	0,68	0,73	0,73
3	0,73	0,75	0,77
4	0,71	0,70	0,76
5	0,70	0,71	0,73
Среднее значение	0,70	0,72	0,75

Исследования показали, что коэффициент паропроницаемости у предложенного материала выше, чем у аналогов (0,30 мг/(м·ч·Па)), что позволит поддерживать оптимальную влажность в помещениях.

Сорбционная влажность (табл. 3) обуславливается относительной влажностью воздуха и температурой, а также количеством и составом антисептика и антипирена.

Таблица 3

Сорбционная влажность образцов утеплителя

Номер образца	Масса образца, г		Сорбционная влажность, %
	сухого	увлажненного	
1	4,42	5,37	21,5
2	4,81	5,78	20,2
3	4,50	5,51	22,4
Среднее значение	4,58	5,55	21,4

Результаты испытаний по определению сорбционной влажности свидетельствуют, что влага в помещениях свободно проходит через новый целлюлозный утеплитель и испаряется с его поверхности, не накапливаясь в материале и не снижая его теплоизоляционных свойств. В неорганических утеплителях (минеральная вата) не происходит адгезии влаги с поверхностью волокон ма-

териала, она конденсируется и стекает по волокнам утеплителя на конструкции здания, вызывая их повреждение. В новом материале растительные полимеры могут удерживать в себе влагу и отдавать ее, не снижая при этом собственных изоляционных свойств, что объясняется полым строением клеток полимера, способных адсорбировать влагу и оставлять сухим пространство между волокнами (рис. 2) [10].

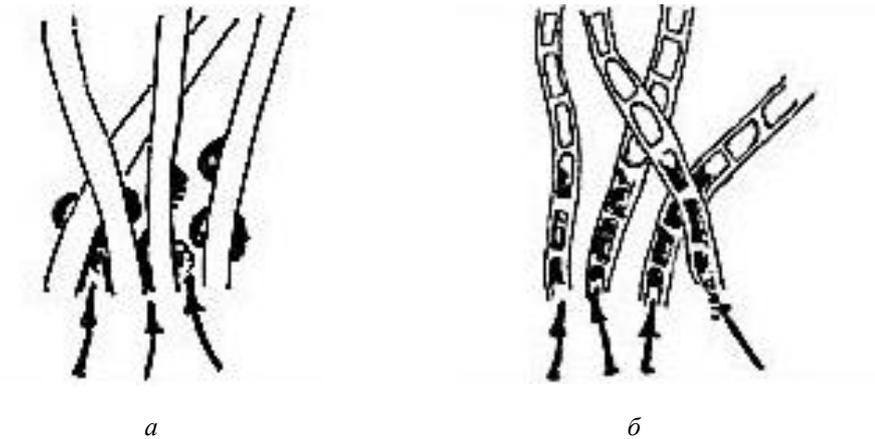


Рис. 2. Структура волокон утеплителей: *а* – минеральная вата, *б* – целлюлозный утеплитель

Равновесная сорбционная влажность (табл. 4) – это равновесная гигроскопическая влажность материала при определенных условиях в течение заданного времени.

Таблица 4

Равновесная сорбционная влажность (%) образцов утеплителя

Номер образца	Относительная влажность воздуха, %			
	60	80 (при условиях А)	90	97 (при условиях Б)
1	6,57	11,07	15,13	26,36
2	6,99	11,91	14,70	25,90
3	5,00	9,15	13,01	23,82
Среднее значение	6,19	10,71	14,28	25,36

Из результатов эксперимента можно сделать вывод, что влажность утеплителя будет возвращаться к равновесному состоянию, при этом влага не будет накапливаться в материале.

Данные по определению водородного показателя водной вытяжки целлюлозного тепло- и звукоизоляционного материала свидетельствуют, что рН для образцов 1–3 равен 6, т. е. материал является химически инертным и не может вызывать коррозию контактирующих с ним конструкций.

Заключение

На основе изучения технологических схем получения целлюлозных утеплителей выявлен ряд недостатков, с учетом которых нами была подобрана система 3-ступенчатого дробления с двойным воздушным вытягиванием и впусиванием волокон, что позволило получить тепло- и звукоизоляционный целлюлозный материал с меньшей плотностью, повышенной энергетической эффективностью и улучшенными эксплуатационными показателями.

Дальнейшие исследования в этой области должны быть направлены на совершенствование процесса фибриляции волокнистого материала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бадьин Г.М., Сычев С.А.* Современные технологии строительства и реконструкции зданий. СПб.: БХВ-Петербург, 2013. 288 с.
2. ГОСТ 17.5.4.01–84. Охрана природы. Определение рН водной вытяжки. М.: Стандартиформ, 1984. 10 с.
3. ГОСТ 17177–94. Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний. М.: Стандартиформ, 1994. 14 с.
4. ГОСТ 7076–99. Материалы и изделия строительные. Методы определения теплопроводности и термического сопротивления при стационарном тепловом режиме. М.: Стандартиформ, 1999. 12 с.
5. ГОСТ Р 54855–2011. Материалы и изделия строительные. Определение расчетных значений теплофизических характеристик. М.: Стандартиформ, 2011. 12 с.
6. ГОСТ 25898–2012. Материалы и изделия строительные. Методы определения паропроницаемости и сопротивления паропроницанию. М.: Стандартиформ, 2012. 15 с.
7. ГОСТ 24816–2014. Материалы строительные. Метод определения равновесной сорбционной влажности. М.: Стандартиформ, 2014. 11 с.
8. *Петров А.Н.* Теплоизоляционные материалы на основе соломы и неорганических связующих: дис. ... канд. техн. наук. Казань, 1998. 178 с.
9. Платформа материалов Pandia.ru. Режим доступа: <http://www.pandia.ru/text/77/185/10745.php> (дата обращения: 16.08.2017).
10. *Чудновский А.Ф.* Теплофизические характеристики дисперсных материалов. М.: Физматгиз, 1962. 456 с.
11. *Svennersedt B.* Field Data on Settling in Loose – Fill Thermal Insulation // Insulation Materials, Testing and Applications, ASTM STR 1030 / ed. by D.L. Mc Elroy, J.F. Kimpflen; American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA, 1990. Pp. 231–236.

Поступила 16.09.17

UDC 699.865

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.151

Production of Thermal Insulating Materials on the Basis of the Secondary Cellulose Fiber

S.G. Luchinkin, Postgraduate Student

V.A. Kozhukhov, Candidate of Engineering Sciences

Yu.D. Alashkevich, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Siberian State University of Science and Technology named after academician M.F. Reshetnev, pr. Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russian Federation; e-mail: vkozhukhov@mail.ru

The principal direction of production development of building materials is materials providing a saving of energy resources, including reduction of heat losses through enclosing structures of buildings, constructions and technological equipment. The majority of insulation materials have a number of drawbacks, such as a low thermal resistance and increased combustibility, the presence of hazardous components polluting the environment. The problems of waste disposal in the production and operation of materials and high-energy consumption for their production are relevant. The urgency of the research is the development of an effective material with the necessary heat insulating and performance properties on the basis of the secondary cellulose fiber; and the creation of an energy-saving technology of production of non-combustible thermal insulating and soundproof materials. The goal of research is to develop a manufacturing technology of such material based on shredded paper waste and non-combustible fillers, boric acid and borax. On the basis of the results of the study we propose a new technological scheme of production of cellulose insulation with the 3-step crushing system with double air stretching and fluffing of fibers, allowing us to obtain a material with reduced density and increased energy efficiency. The main operational characteristics of the new material (coefficients of thermal conductivity and vapor permeability, sorption and sorption equilibrium humidity, hydrogen index) are determined experimentally. The research results demonstrate an improvement of the majority of thermophysical parameters of the cellulose thermal insulating and soundproof material in comparison with the known analogs and can be used in the design and construction of industrial and residential buildings and structures.

Keywords: cellulosic material, heat insulating material, beating, heat and sound insulation, thermal conductivity, sorption humidity.

REFERENCES

1. Bad'in G.M., Sychev S.A. *Sovremennye tekhnologii stroitel'stva i rekonstruktsii zdaniy* [Modern Technologies of Construction and Reconstruction of Buildings]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2013. 288 p. (In Russ.)
2. *GOST 17.5.4.01–84. Okhrana prirody. Rekul'tivatsiya zemel'. Metod opredeleniya pH vodnoy vytyazhki vskryshnykh i vmeshchayushchikh porod* [State Standard 17.5.4.01–84. Nature Protection. Recultivation of Lands. Method of Determining pH Water Extraction of Overburden and Enclosing Rocks]. Moscow, Standartinform Publ., 1984. 10 p. (In Russ.)

For citation: Luchinkin S.G., Kozhukhov V.A., Alashkevich Yu.D. Production of Thermal Insulating Materials on the Basis of the Secondary Cellulose Fiber. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 151–159. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.151

3. GOST 17177–94. *Materialy i izdeliya stroitel'nye teploizolyatsionnye. Metody ispytaniy* [State Standard 17177–94. Thermal Insulating Materials and Products for Building Application. Test Methods]. Moscow, Standartinform Publ., 1994. 34 p. (In Russ.)

4. GOST 7076–99. *Materialy i izdeliya stroitel'nye. Metod opredeleniya teploprovodnosti i termicheskogo soprotivleniya pri statsionarnom teplovom rezhime* [State Standard 7076–99. Building Materials and Products. Method of Determination of Steady-State Thermal Conductivity and Thermal Resistance]. Moscow, Standartinform Publ., 1999. 22 p. (In Russ.)

5. GOST P 54855–2011. *Materialy i izdeliya stroitel'nye. Opredelenie raschetnykh znacheniy teplofizicheskikh kharakteristik* [State Standard P 54855–2011. Building Materials and Products. Determination of Design Thermal Value]. Moscow, Standartinform Publ., 2011. 12 p. (In Russ.)

6. GOST 25898–2012. *Materialy i izdeliya stroitel'nye. Metody opredeleniya paropronitsaemosti i soprotivleniya paropronitsaniyu* [State Standard 25898–2012. Building Materials and Products. Method for Determination of Water Vapour Permeability and Steam-Tightness]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 10 p. (In Russ.)

7. GOST 24816–2014. *Materialy stroitel'nye. Metod opredeleniya ravnovesnoy sorbtsionnoy vlazhnosti* [State Standard 24816–2014. Building Materials. Method of Equilibrium Hygroscopic Moisture Determination]. Moscow, Standartinform Publ., 2015. 8 p. (In Russ.)

8. Petrov A.N. *Teploizolyatsionnye materialy na osnove solomy i neorganicheskikh svyazuyushchikh: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Heat-Insulating Materials Based on Straw and Inorganic Binders: Cand. Eng. Sci. Diss.]. Kazan, 1998. 178 p.

9. *Platforma materialov Pandia.ru* [Platform of Materials Pandia.ru]. Available at: <http://www.pandia.ru/text/77/185/10745.php> (accessed 16.08.2017).

10. Chudnovskiy A.F. *Teplofizicheskie kharakteristiki dispersnykh materialov* [Thermophysical Characteristics of Disperse Materials]. Moscow, Fizmatgiz Publ., 1962. 456 p. (In Russ.)

11. Svennersedt B. Field Data on Settling in Loose – Fill Thermal Insulation. *Insulation Materials, Testing and Applications, ASTM STR 1030*. Ed. by D.L. Mc Elroy, J.F. Kimpflen. American Society for Testing and Materials. Philadelphia, USA, 1990, pp. 231–236.

Received on September 16, 2017

УДК 676.273.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.160

ВЛИЯНИЕ МНОГОСЛОЙНОГО ФОРМОВАНИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ, ДЕФОРМАТИВНОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ КАРТОНА*

В.В. Гораздова, асп.

Е.В. Дернова, канд. техн. наук, доц.

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: v.gorazdova@narfu.ru, e.dernova@narfu.ru

Многослойное формование улучшает многие прочностные свойства картона. Целью настоящего исследования является изучение многослойного формования картона как одного из факторов повышения и регулирования его прочности, деформативности и трещиностойкости. Подобные исследования применительно к массовым видам картона проводились еще в 90-х гг. прошлого века А.С. Смолиным и Г.З. Аксельродом. В настоящей работе особое внимание уделено современным и актуальным на сегодняшний день характеристикам упаковочных видов картона: сопротивлению сжатию по методу SCT, энергии внутренних связей по Скотт–Бонду и сопротивлению развитию трещин. Представлены результаты испытаний модельных образцов картона широкого диапазона композиций по волокну с использованием как первичных (беленых и небеленых) полуфабрикатов нормального и высокого выхода, так и вторичных волокон. Продемонстрирована возможность моделирования многослойного формования, позволяющего целенаправленно изменять физико-механические характеристики и получать материалы с заданными потребительскими свойствами.

Ключевые слова: многослойный картон, целлюлоза высокого выхода, полуцеллюлоза, лиственная и хвойная беленая целлюлоза, макулатура, прочность, деформативность, трещиностойкость.

Введение

Известно, что прочность целлюлозно-бумажных материалов, и в частности картона, по сравнению с однослойным формованием возрастает как при

*Статья подготовлена по материалам IV Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», посвященной памяти проф. В.И. Комарова (Архангельск, 14–16 сент. 2017 г.).

Исследования выполнены на оборудовании инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета им. М. В. Ломоносова при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Для цитирования: Гораздова В.В., Дернова Е.В. Влияние многослойного формования на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости картона // Лесн. журн. 2017. № 6. С. 160–169. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.160

увеличении его массы 1 м^2 , так и при формировании в несколько слоев. Много-слойное формирование улучшает многие прочностные свойства картона без повышения массы 1 м^2 за счет сочетания более пухлого внутреннего слоя листа с уплотненными прочными наружными слоями. Это объясняется тем, что в одно-слойном листе имеются локальные участки полотна с меньшей массой 1 м^2 , по которым оно разрушается в случае приложения соответствующих нагрузок. С увеличением числа элементарных слоев вероятность наложения друг на друга этих слабых участков снижается, происходит выравнивание полотна по массе. Картон становится более равномерным по плотности и имеет более высокие прочностные характеристики. Таким образом, варьированием количества и качества слоев можно влиять на характеристики прочности и деформативности целлюлозно-бумажных материалов [15, 16].

В условиях конкуренции на рынке товаров народного потребления упаковка выполняет не только утилитарную функцию обеспечения сохранности товара, но и становится маркетинговым инструментом в борьбе за внимание потребителя.

Среди упаковочных картонов выделяют две основные группы. К первой группе относят материалы для производства гофрированного картона – картон для плоских слоев (картон-лайнер) и бумага для гофрирования (флютинг), ко второй – материалы, предназначенные для изготовления потребительской тары (коробок, пачек и др.).

Упаковочные виды картона должны отвечать таким основным требованиям, как высокая жесткость, каркасность, барьерные свойства, прочность.

Типичная структура его имеет несколько слоев:

мелованный – один или несколько (чаще два) слоев мелования;

верхний – один или несколько слоев из качественного первичного сырья;

средний – достаточно толстый слой из дешевого сырья (макулатура, механическая масса, небеленая целлюлоза, различные отходы производства), что дает возможность снизить стоимость картона без ухудшения его барьерных свойств;

нижний – один или несколько слоев качественного сырья (беленая целлюлоза, небеленая целлюлоза, древесная масса, макулатура).

Известно, что качество сырья снижается сверху до среднего слоя и возрастает от него вниз.

Картоны, содержащие макулатуру, несколько дешевле, однако они, как правило, менее жесткие. Целлюлоза повышенной прочности (крафт) используется для увеличения уровня жесткости картона, его прочности и влагостойкости [1, 11–13].

Объекты и методы исследования

Для оценки влияния многослойного формирования на физико-механические характеристики картона изготавливали модельные одно-, двух-, трех- и четырехслойные образцы. Общая масса образцов, независимо от количества элементарных слоев, составляла 200 г/м^2 . Следовательно, при моделировании

двухслойных образцов масса каждого элементарного слоя – 100 г/м², трехслойных – 66,7 г/м², четырехслойных – 50 г/м².

В лабораторных условиях изготавливали многослойные образцы картона при использовании следующих композиций слоев по волокну:

полуфабрикаты высокого выхода (ПВВ) – смесь хвойной целлюлозы высокого выхода и лиственной полуцеллюлозы при степени помола 18 и 24 °ШР и соотношении 30 : 70 соответственно;

беленые виды целлюлозы (БЦ) – смесь лиственной и хвойной сульфатных беленых целлюлоз при степени помола 30 °ШР и соотношении 50 : 50;

макулатура марки МС-5Б (М) при степени помола 30 °ШР.

Размол полуфабрикатов проводили в лабораторной мельнице Йокро.

Лабораторные образцы из предварительно подготовленной волокнистой массы изготавливали в соответствии с ГОСТ 14363.4–89 [6] на листоотливном аппарате типа Rapid-Köthen BBS-2 Estanit.

Для определения стандартных показателей качества лабораторных образцов использовали следующие методы:

толщина образцов (ГОСТ 27015–86 [4]);

прочность на разрыв и удлинение при растяжении (ГОСТ 13525.1–79 [2]) на лабораторном испытательном комплексе, включающем разрывную машину ТС 101-0,5 (г. Иваново) и ПЭВМ с программным обеспечением Комплекс для математической обработки индикаторной диаграммы «нагрузка–удлинение», позволяющим рассчитывать такие характеристики, как деформация разрушения (ϵ_p , %) и разрывная длина (L , м);

прочность на излом при многократных перегибах (N , ч. д. п.) на приборе Frank-PTI (ГОСТ 13525.2–80 [3]);

сопротивление продавливанию (Π , кПа) на приборе Lorentzen & Wettre (ГОСТ 13648.6–86 [5]);

сопротивление сжатию по кольцу (RCT, Н) на приборе Frank-PTI (ГОСТ 10711–97 [8]);

сопротивление торцевому сжатию (CCT, кН/м) на приборе Frank-PTI (ГОСТ 28686–90 [7]);

энергия внутренних связей по Скотт–Бонду (Scott, Дж/м²) на приборе Frank-PTI (ГОСТ 32096–2013 [10]);

сопротивление сжатию на коротком расстоянии между зажимами (SCT, кН/м) на приборе Frank-PTI (ГОСТ Р ИСО 9895–2013 [9]);

трещиностойкость (FT, Дж/м) на приборе Lorentzen & Wettre (ISO/TS 17958:2013 [14–17]).

Результаты исследования и их обсуждение

При моделировании многослойных образцов картона внутренние слои изготавливали из наиболее дешевого и низкокачественного сырья (макулатура или полуфабрикаты высокого выхода), наружные слои – из высококачественных первичных полуфабрикатов, чаще из беленых целлюлоз.

Результаты испытаний представлены на рис. 1.

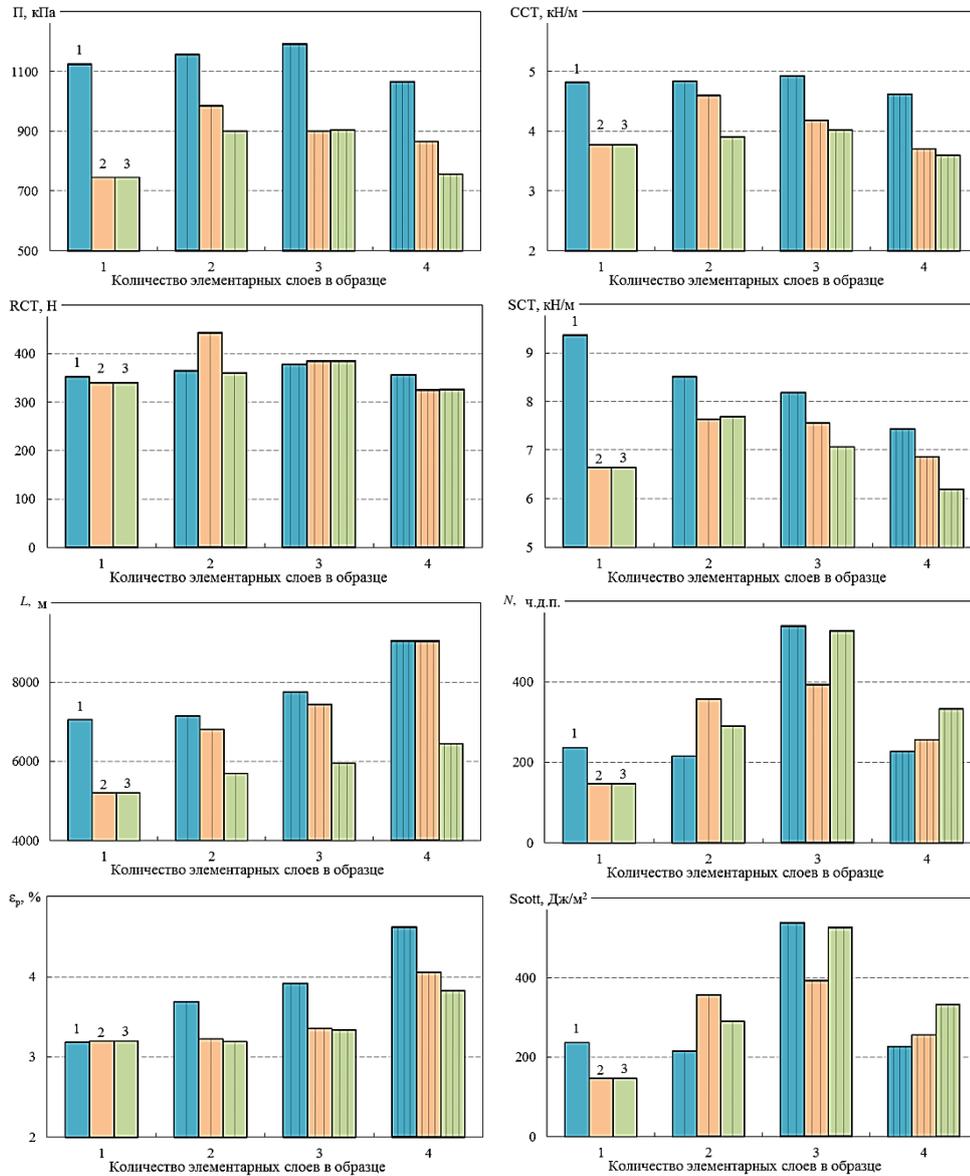


Рис. 1. Влияние количества слоев на физико-механические показатели картона:
 1 – ПВВ + БЦ; 2 – ПВВ + М; 3 – БЦ + М

Установлено, что увеличение количества элементарных слоев в образцах картона, изготовленных только из первичных волокон (вариант 1 – ПВВ + БЦ), благоприятно влияет на характеристики прочности и деформативности. Известно, что с увеличением (до определенного предела) количества слоев в

материале обеспечивается повышение равномерности просвета за счет наложения друг на друга слабых участков и выравнивания полотна по массе. Следовательно, картон становится более равномерным по плотности и имеет высокие прочностные характеристики.

Так, переход от одно- к многослойным образцам приводит к повышению разрывной длины на 28 %, деформации разрушения – на 45 %, сопротивления торцевому сжатию и сжатию по кольцу – на 2 и 7 % соответственно.

Энергия внутренних связей по Скотт–Бонду (Scott) при увеличении количества элементарных слоев в композиции картона также несколько повышается, что, по-видимому, обусловлено улучшением сцепления слоев в z-направлении при снижении их толщины.

Вместе с тем сопротивление сжатию по методу SCT у однослойных образцов существенно выше, чем у многослойных, вероятно, за счет увеличения влияния межслоевых контактов.

В целом по многим качественным показателям оптимальными с точки зрения уровня значений являются трехслойные образцы. Увеличение количества элементарных слоев до четырех приводит к снижению характеристик. К таким характеристикам относятся стандартные показатели качества картона. Во-первых, в данном случае при увеличении многослойности картона начинает преобладать влияние уменьшения межслоевых контактов; во-вторых, необходимо учитывать, что в условиях лабораторного отлива образцов (по сравнению с промышленными условиями формования на картоноделательной машине) соединение слоев происходит при более высокой сухости, а прессование производится при низком нерегулируемом давлении; в-третьих, при приложении сжимающих нагрузок на торцевых плоскостях образца возникают концентрации напряжений, которые в совокупности с увеличением межслоевых контактов при многослойном формовании приводят к снижению значений показателей.

При замене в композиции картона небеленых ПВВ на макулатуру (вариант 3 – БЦ + М) можно констатировать следующее.

Динамика изменения характеристик прочности, жесткости и деформативности при переходе от одно- к многослойным образцам аналогична предыдущему варианту, но более выражена с точки зрения прироста значений показателей. Это связано в большей степени с тем, что в качестве однослойного образца в данном случае рассматривается картон из 100 %-й макулатуры. Переход к многослойным образцам и, следовательно, включение в состав элементарного покровного слоя из беленого волокна приводит к закономерному повышению значений показателей на 7...20 %.

При этом необходимо отметить, что уровень всех рассматриваемых характеристик в случае использования в композиции макулатуры закономерно на 16...25 % ниже по сравнению с предыдущим вариантом.

Результаты испытаний образцов варианта 2 – (ПВВ + М), в свою очередь, занимают промежуточное положение между рассмотренными ранее. В этом

случае с позиции характеристик прочности закономерно трехслойный образец прочнее двухслойного. Во-первых, при трехслойной структуре доля макулатуры в общей массе картона ниже, чем в двухслойном образце (масса каждого элементарного слоя двухслойных образцов составляет 100 г, а трехслойных – 66,7 г). Во-вторых, более предпочтительным является расположение слоев, когда более прочные слои располагаются сверху и снизу, а менее прочный полуфабрикат – в середине структуры материала. Это связано с тем, что наибольшие нагрузки действуют на целлюлозно-бумажный материал при изгибе, поэтому более прочные первичные полуфабрикаты и должны располагаться в наружных слоях.

С точки зрения комплекса характеристик сопротивления сжатию оптимальными являются двухслойные образцы. В случае рассмотрения трехслойных образцов, даже при снижении общей доли макулатурного волокна в композиции, наблюдается ухудшение показателей их качества. Это обусловлено возрастанием влияния перенапряжений, возникающих на границе раздела фаз между элементарными слоями, обладающими существенно отличающимися друг от друга свойствами (макулатурное волокно и грубое первичное волокно высокого выхода). И, как уже было отмечено ранее, увеличение межслоевых контактов также приводит к снижению жесткости материала.

При рассмотрении такого показателя, как трещиностойкость, особенно актуального на сегодняшний день для производителей тары и упаковки, отмечено следующее.

Трещиностойкость однослойных образцов картона из макулатуры на 19 % выше, чем у аналогичных образцов из первичных полуфабрикатов. Повышение трещиностойкости при переходе к трехслойной структуре образцов из первичных волокон лишь приближает значения данной характеристики к начальному уровню для макулатурных образцов. Данный факт обусловлен повышенной грубостью первичных волокон ПВВ по сравнению с более равномерными и разработанными вторичными волокнами макулатуры. Следовательно, при изготовлении образцов картона из вторичного сырья количество потенциальных локальных источников зарождения дефектов в структуре минимизируется. Вместе с тем повышение количества элементарных макулатурных слоев в образцах приводит к планомерному снижению их трещиностойкости (рис. 2, в), но оно менее выражено, чем для картона из жесткого первичного волокна (рис. 2, а). Результаты, полученные для образцов со смешанной композицией, занимают промежуточное положение (рис. 2, б).

Улучшить ситуацию можно путем увеличения степени разработки волокон. Например, повышение степени помола макулатуры от 30 до 35 °ШР приводит к приросту значений трещиностойкости четырехслойных образцов на 20 % (рис. 2, г), что превышает начальный уровень данного показателя для однослойного картона.

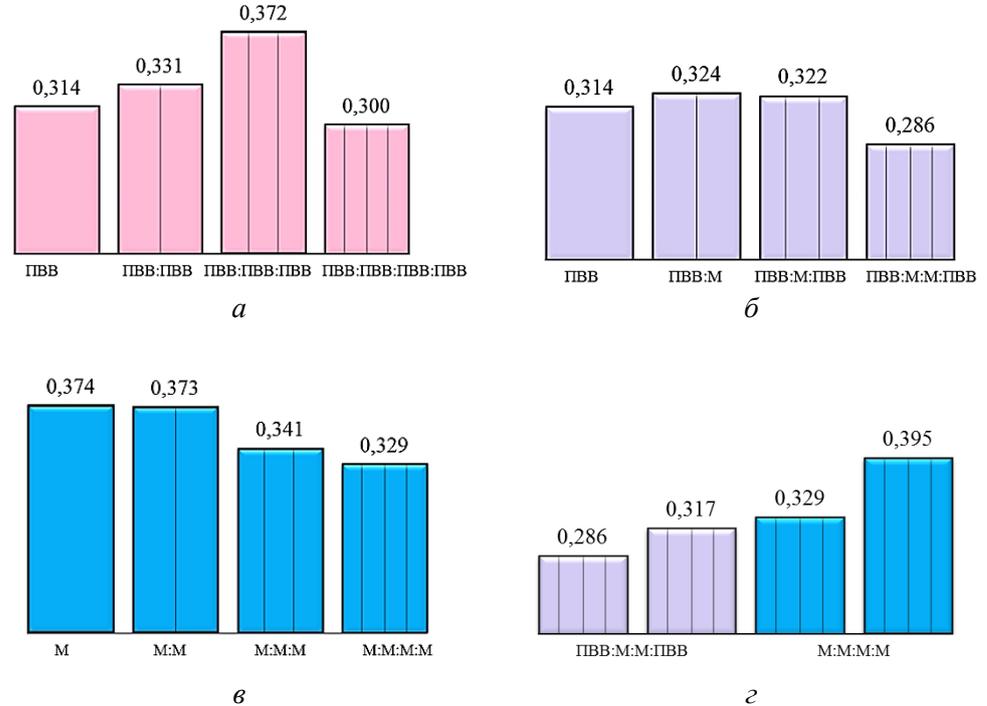


Рис. 2. Трещиностойкость картона: а – смесь полуфабрикатов высокого выхода; б – смесь полуфабрикатов высокого выхода и макулатуры; в – 100 %-я макулатура; з – четырехслойные образцы при увеличении степени помола полуфабрикатов

Для образцов смешанной композиции повышение степени помола полуфабрикатов (рис. 2, з) от 18 до 22 °ШР для целлюлозы высокого выхода и от 24 до 28 °ШР для полуцеллюлозы также положительно сказывается на трещиностойкости. Однако большое количество межслоевых контактов при наличии грубых жестких волокон ПВВ является ограничивающим фактором и не позволяет существенно повысить устойчивость структуры к развитию трещин относительно исходного уровня.

В целом прочностные свойства многослойных образцов картона зависят от прочности отдельных элементарных слоев, но вклад каждого различен. Свойства наружных слоев оказывают большее влияние на деформативность, чем на прочность картона. В то же время при сопротивлении различным видам нагрузок ведущая роль принадлежит внутренним слоям.

Заключение

1. Представлена возможность моделирования (варьирования) количества и качества элементарных слоев картона для достижения требуемых показателей физико-механических свойств.

2. Показано, что при увеличении в композиции доли более дешевых видов материалов (например, макулатуры) многослойное формование позволяет регулировать качество картона без повышения массы 1 м² продукции.

3. Продемонстрировано, что характеристики качества многослойных образцов картона зависят от свойств отдельных элементарных слоев, но вклад каждого различен. Свойства наружных слоев оказывают большее влияние на деформативность, чем на прочность картона. В то же время при сопротивлении различным видам нагрузок ведущая роль принадлежит внутренним слоям.

4. На примере четырехслойных образцов продемонстрирована возможность увеличения трещиностойкости за счет прироста степени помола полуфабрикатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бабаевский П.Г., Кулик С.Г.* Трещиностойкость отвержденных полимерных композиций. М.: Химия, 1991. 336 с.

2. ГОСТ 13525.1–79. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении. Взамен ГОСТ 13525.1–68. Введ. 1980–01–07. М.: Стандартиформ, 2007. 5 с.

3. ГОСТ 13525.2–80. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения прочности на излом при многократных перегибах. Взамен ГОСТ 13525.2–68. Введ. 1981–30–06. М.: Стандартиформ, 2007. 4 с.

4. ГОСТ 27015–86. Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема. Взамен ГОСТ 13199–67, ГОСТ 12432–77. Введ. 1988–01–01. М.: Изд-во стандартов, 2002. 4 с.

5. ГОСТ 13648.6–86. Бумага и картон. Методы определения сопротивления раслаиванию. Взамен ГОСТ 13648.6–82. Введ. 1986–12–02. М.: Стандартиформ, 1986. 7 с.

6. ГОСТ 14363.4–89. Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. Взамен ГОСТ 14363.4–79. Введ. 1993–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1993. 14 с.

7. ГОСТ 28686–90. Бумага для гофрирования. Метод определения сопротивления торцевому сжатию (ССТ) гофрированного образца. Введ. 1992–01–01. М.: Стандартиформ, 2005. 4 с.

8. ГОСТ 10711–97. Бумага и картон. Метод определения разрушающего усилия при сжатии кольца (RCT). Взамен ГОСТ 10711–74. Введ. 2003–01–01. М.: Стандартиформ, 2003. 8 с.

9. ГОСТ Р ИСО 9895–2013. Бумага и картон. Определение сопротивления сжатию. Метод испытания на коротком расстоянии между зажимами (SCT). Введ. 2015–01–01. М.: Стандартиформ, 2014. 12 с.

10. ГОСТ 32096–2013. Картон тароупаковочный для пищевой продукции. Взамен ГОСТ 9421–80. Введ. 2015–01–01. М.: Стандартиформ, 2014. 24 с.

11. *Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И., Блинова Л.А.* Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона / под ред. В.И. Комарова. Архангельск: САФУ, 2011. 176 с.

12. *Комаров В.И., Гурьев А.В., Елькин В.П.* Механика деформирования целлюлозных тароупаковочных материалов: учеб. пособие. Архангельск: АГТУ, 2002. 171 с.

13. *Смолин А.С., Аксельрод Г.З.* Технология формования бумаги и картона. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 121 с.

14. ISO/TS 17958:2013. Paper and Board. Determination of Fracture Toughness. Constant Rate of Elongation Method (1.7 mm/s). 2013. 16 p.
15. Mäkelä P., Fellers C. An Analytic Procedure for Determination of Fracture Toughness of Paper Materials // Nordic Pulp Paper Res. J. 2012. Vol. 27, iss. 2. Pp. 352–361.
16. Muhonen P. Brittleness of Paper: MSc Thesis. Lappeenranta, Finland, 2013. 110 p.
17. SCAN-P77:95. Papers and Boards. Fracture Toughness. Scandinavian Pulp, Paper and Board. Testing Committee, 1995. 8 p.

Поступила 16.09.17

UDC 676.273.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.160

The Influence of Multilayer Formation on Strength, Deformation and Fracture Toughness Characteristics of Board

V.V. Gorazdova, Postgraduate Student

E.V. Dernova, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;
e-mail: v.gorazdova@narfu.ru, e.dernova@narfu.ru

Multilayer formation improves many strength properties of cardboard. The goal of research is to study the multilayer formation of cardboard as one of the factors of increasing and regulating its strength, deformability and fracture toughness. Smolin A.S. and Aksel'rod G.Z. carried out similar studies with respect to the mass types of cardboard in the 90's in the last century. The authors of the paper pay particular attention to the current characteristics of packaging cardboard types: compressive strength by the SCT method, internal bond strength (Scott type), and fracture toughness. The paper presents the test results of model cardboard samples of a wide range of fiber furnish using both primary (bleached and unbleached) normal and high yield semi-finished products and secondary fibers. The multilayer formation modeling, which allows us to change physico-mechanical characteristics purposefully and to obtain materials with prescribed useful qualities, is demonstrated.

Keywords: combined cardboard, high-yield pulp, semichemical pulp, hardwood and softwood bleached pulp, waste paper, strength, deformability, fracture toughness.

REFERENCES

1. Babaevskiy P.G., Kulik S.G. *Treshchinostoykost' otverzhdennykh polimernykh kompozitsiy* [Crack Resistance of Cured Polymer Compounds]. Moscow, Khimiya Publ., 1991. 336 p. (In Russ.)
2. *GOST 13525.1–79. Polufabrikaty voloknistye, bumaga i karton. Metod opredele-niya prochnosti na razryv i udlinenie pri rastyazhenii* [State Standard 13525.1–79. Fibre Semimanufactures, Paper and Board. Tensile Strength and Elongation Tests]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 5 p. (In Russ.)

For citation: Gorazdova V.V., Dernova E.V. The Influence of Multilayer Formation on Strength, Deformation and Fracture Toughness Characteristics of Board. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2017, no. 6, pp. 160–169. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.160

3. GOST 13525.2–80. *Polufabrikaty voloknistye, bumaga i karton. Metod opredeleniya prochnosti na izlom pri mnogokratnykh peregibakh* [State Standard 13525.2–80. Fibre Semimanufactures, Paper and Board. Method for Determination of Breaking Strength]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 4 p. (In Russ.)
4. GOST 27015–86. *Bumaga i karton. Metody opredeleniya tolshchiny, plotnosti i udel'nogo ob'ema* [State Standard 27015–86. Paper and Board. Methods for Determining Thickness, Density and Specific Volume]. Moscow, Standartinform Publ., 2002. 4 p. (In Russ.)
5. GOST 13648.6–86. *Bumaga i karton. Metody opredeleniya soprotivleniya rasslavyaniyu* [State Standard 13648.6–86. Paper and Cardboard. Methods of Splitting Strength Determination]. Moscow, Standartinform Publ., 1986. 7 p. (In Russ.)
6. GOST 14363.4–89. *Tsellyuloza. Metod podgotovki prob k fiziko-mekhanicheskim ispytaniyam* [State Standard 14363.4–89. Pulp. Preparation of Samples for Physical and Mechanical Tests]. Moscow, Standartinform Publ., 1993. 14 p. (In Russ.)
7. GOST 28686–90. *Bumaga dlya gofirovaniya. Metod opredeleniya soprotivleniya tortsevomu szhatiyu (CCT) gofirovannogo obraztsa* [State Standard 28686–90. Corrugating Paper. Method for Determination of Corrugating Resistance to Edge Compression]. Moscow, Standartinform Publ., 2005. 4 p. (In Russ.)
8. GOST 10711–97. *Bumaga i karton. Metod opredeleniya razrushayushchego usiliya pri szhatii kol'tsa (RCT)* [State Standard 10711–97. Paper and Board. Method for Determination of Breaking Force by Ring Compression (RCT)]. Moscow, Standartinform Publ., 2003. 8 p. (In Russ.)
9. GOST R ISO 9895–2013. *Bumaga i karton. Opredelenie soprotivleniya szhatiyu. Metod ispytaniya na korotkom rasstoyanii mezhdz zazhimami (SCT)* [State Standard R ISO 9895–2013. Paper and Board. Compressive Strength. Short-Span Test]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p. (In Russ.)
10. GOST 32096–2013. *Karton taroupakovochnyy dlya pishchevoy produktsii* [State Standard 32096–2013. Packaging Paperboard for Food Products. General Specifications]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 24 p. (In Russ.)
11. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I., Blinova L.A. *Svoystva tsellyuloznykh volokon i ikh vliyanie na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki bumagi i kartona* [Properties of Cellulose Fibers and Their Influence on Physical and Mechanical Characteristics of Paper and Paperboard]. Ed. by V.I. Komarov. Arkhangelsk, NArFU Publ., 2011. 176 p. (In Russ.)
12. Komarov V.I., Gur'ev A.V., El'kin V.P. *Mekhanika deformirovaniya tsellyuloznykh taroupakovochnykh materialov* [Mechanics of Deformation of Cellulosic Packaging Materials]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2002. 171 p. (In Russ.)
13. Smolin A.S., Aksel'rod G.Z. *Tekhnologiya formovaniya bumagi i kartona* [The Forming Technology of Paper and Cardboard]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 121 p. (In Russ.)
14. ISO/TS 17958:2013. *Paper and Board. Determination of Fracture Toughness. Constant Rate of Elongation Method (1.7 mm/s)*. 2013. 16 p.
15. Mäkelä P., Fellers C. An Analytic Procedure for Determination of Fracture Toughness of Paper Materials. *Nordic Pulp Paper Res. J.*, 2012, vol. 27, iss. 2, pp. 352–361.
16. Muhonen P. *Brittleness of Paper*: MSc Thesis. Lappeenranta, Finland, 2013. 110 p.
17. SCAN-P77:95. *Papers and Boards. Fracture Toughness*. Scandinavian Pulp, Paper and Board. Testing Committee, 1995. 8 p.

Received on September 16, 2017



ЮБИЛЕИ

УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.170

К ЮБИЛЕЮ ПРОФЕССОРА НИКОЛАЯ АЛЕКСЕЕВИЧА БАБИЧА



27 ноября 2017 г. отмечает 70-летний юбилей Николай Алексеевич Бабич – профессор, доктор сельскохозяйственных наук, заслуженный работник высшей школы России.

Н.А. Бабич – лесовод-лесокультурник, известный широкому кругу научной общественности и практикам лесного хозяйства в России и за ее пределами. Вся его жизнь связана со служением лесу и воспитанием служителей леса.

После окончания в 1971 г. Архангельского лесотехнического института (АЛТИ, ныне Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова – САФУ) Николай Алексеевич работал младшим научным сотрудником в Архангельском институте леса и лесохимии под руководством ученого-экспериментатора Ф.Т. Пигарева.

В 1975 г. он поступает в аспирантуру при Ленинградской лесотехнической академии им. С.М. Кирова. Трехлетняя исследовательская деятельность под руководством известного ученого профессора Г.И. Редько завершается успешной защитой кандидатской диссертации на тему «Итоги 175-летнего опыта выращивания культур сосны в Лисинском учебно-опытном лесхозе Ленинградской области» (1978 г.).

С особой теплотой вспоминает Николай Алексеевич годы учебы в аспирантуре. Он с большим уважением относится к своему руководителю, в некоторых ситуациях даже старается ему подражать. Общение с ученым мирового уровня, признанным специалистом своего дела профессором Г.И. Редько, его учениками и последователями предопределило его дальнейшую судьбу.

После окончания аспирантуры и защиты кандидатской диссертации Н.А. Бабич работал в АЛТИ на кафедре лесных культур и механизации лесохозяйственных работ. Им собран обширный и ценный материал в области лесовосстановления тайги, который положен в основу его докторской диссертации «Лесовосстановление на Европейском Севере» (1993 г.).

Удивительная работоспособность и эрудиция Николая Алексеевича способствовали плодотворному развитию научной, педагогической и авторской деятельности

сти. Известная трилогия «Рукотворные леса Европейского Севера» (1991 г.), «Корабельный лес во славу флота Российского» (1993 г.) и «Лесовосстановление на Европейском Севере» (1994 г.) по праву удостоена премии и медали Ломоносовского фонда (1995 г.).

В 1998 г. Николай Алексеевич возглавил кафедру лесных культур. С его приходом связан новый этап в жизни кафедры. В 2000–2001 гг. кафедра под его руководством получила новый импульс развития.

Много сил и внимания он уделяет подготовке молодых ученых, им создана научная школа, под его руководством защищено 25 кандидатских и 5 докторских диссертаций, а бывшие аспиранты Николая Алексеевича уже сами стали успешными учеными и продолжают дело своего руководителя в подготовке молодых кадров.

Более 40 лет своей жизни Николай Алексеевич посвятил исследованию природы таежных лесов. Он имеет более 200 опубликованных научных работ, в том числе более 60 книг.

Н.А. Бабич постоянно и с большим интересом занимается творческой деятельностью. Почти все книги Николая Алексеевича проиллюстрированы в основном его фотографиями, сюжеты которых подсмотрены в жизни. Особенно стоит отметить его научно-популярное издание – «Тайга Беломорья» (2011 г.). В этой книге автор доступно знакомит читателей с многообразием и уникальностью природы беломорской тайги.

Научная деятельность Н.А. Бабича отмечена Почетной серебряной медалью им. В.И. Вернадского, премией и медалью им. М.В. Ломоносова. В январе 2017 г. ему присвоено звание заслуженного профессора САФУ, которое ежегодно присуждается самым достойным ученым университета.

Николай Алексеевич Бабич – творческий человек. Лучшие человеческие качества тесно переплетаются в нем с талантом ученого, исследователя, педагога.

С юбилеем Вас, дорогой наш коллега и учитель!

*Б.В. Ермолин, Д.Н. Клевцов¹, С.А. Корчагов², С.Н. Марич³,
В.И. Мелехов¹, М.Д. Мерзленко⁴, П.А. Феклистов¹*

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

²Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина

³Национальный парк «Кенозерский»

⁴Институт лесоведения РАН

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.170

On the Anniversary of Professor Nikolay A. Babich

*B.V. Ermolin, D.N. Klevtsov¹, S.A. Korchagov², S.N. Marich³, V.I. Melekhov¹,
M.D. Merzlenko⁴, P.A. Feklistov¹*

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

²Vologda State Dairy Farming Academy by N.V. Vereshchagin

³Kenozersky National Park

⁴Institute of Forest Science of the Russian Academy of Sciences

УДК 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.172

ЕЛЕНА НИКОЛАЕВНА НАКВАСИНА – ПЕДАГОГ, УЧЕНЫЙ



Время летит быстро, и вновь мы поздравляем с юбилеем профессора, доктора сельскохозяйственных наук Елену Николаевну Наквасину!

Выбрав однажды свой путь в науке, Елена Николаевна верна ему на протяжении всей творческой жизни. Окончив в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт им. В.В. Куйбышева и получив диплом инженера лесного хозяйства, она поступает в аспирантуру при кафедре лесных культур Ленинградской лесотехнической академии им. С.М. Кирова. В 1979 г. защищает кандидатскую диссертацию на тему «Ритмы роста сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской в Ленинградской области». С 1984 г. Елена Николаевна становится старшим, а затем ведущим научным сотрудником Архангельского института леса и лесохимии. Решением Высшей аттестационной комиссии в 1991 г. ей присвоено ученое звание старшего научного сотрудника.

Елена Николаевна имеет педагогический стаж работы 30 лет, 5 из которых она преподавала на кафедре геодезии Архангельского лесотехнического института им. В.В. Куйбышева. На протяжении 14 лет (с 1991 г.) была доцентом, затем заведующей кафедрой ботаники и общей экологии, заместителем декана по научной работе естественно-географического факультета Поморского государственного университета им. М.В. Ломоносова. В 2003 г. получила ученое звание профессора по кафедре ботаники и общей экологии.

В 2000 г. успешно проходит защита ее докторской диссертации «Географическая изменчивость как основа семеноводства сосны обыкновенной на Европейском Севере России».

С 2004 г. Е.Н. Наквасина избрана заведующей кафедрой лесоводства и почвоведения лесохозяйственного факультета Архангельского государственного технического университета. В настоящее время Елена Николаевна – профессор кафедры лесоводства и лесоустройства высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова (САФУ).

Елена Николаевна не только руководит научными исследованиями, но и принимает активное участие в них. В ее научном багаже – работа по федеральным целевым программам, грантам РФФИ, РГНФ и т. д., региональным научным и научно-техническим программам, договорам с хозяйствующими субъектами, международным научным и научно-техническим программам. Она является членом жюри конкурса научных проектов «Молодые ученые Поморья», экспертного совета РФФИ-

север, членом диссертационного совета по лесному хозяйству САФУ, входит в состав редакционной коллегии журнала «Известия высших учебных заведений. Лесной журнал».

Профессором Наквасиной и ее учениками исследуются географические лесные культуры, разрабатываются рекомендации для внедрения в практику лесного хозяйства региона.

Ею опубликовано более 300 работ, из них 6 монографий.

Под руководством Елены Николаевны подготовлено 9 кандидатских и 1 докторская диссертации. Ученики благодарны руководителю не только за помощь в научном поиске, но и за то сердечное тепло, которое дарит им этот разносторонний человек.

Елена Наквасина – организатор и участник многих научных конференций, курсов, симпозиумов, съездов, проводимых в Архангельске, выступает с докладами на международных научных конференциях.

Она дважды лауреат премий Ломоносовского фонда. Награждена Почетной грамотой Министерства образования Российской Федерации (2002 г.), знаком Почетный работник высшего профессионального образования РФ (2009 г.).

Это специалист с активной жизненной позицией, не равнодушный к любому начинанию, всегда поддерживающий инициативу коллег по работе и молодых ученых. Многие тянутся к ней за мудрым советом, разумным наставлением.

Коллеги и друзья в этот замечательный день желают Елене Николаевне долгих творческих лет, успешной научной и преподавательской деятельности, крепкого здоровья, ее ученики – студенты и аспиранты – от всей души говорят огромное спасибо.

Л.В. Морозова, С.В. Любова, С.В. Коптев, С.В. Третьяков, А.А. Бахтин
Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова

UDC 06.091

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2017.6.172

Elena N. Nakvasina – a Teacher, a Scientist

L.V. Morozova, S.V. Lyubova, S.V. Koptev, S.V. Tret'yakov, A.A. Bakhtin

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

УКАЗАТЕЛЬ СТАТЕЙ,
ПОМЕЩЕННЫХ В «ЛЕСНОМ ЖУРНАЛЕ»
в 2017 г.

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

- Антонов О.И.** Повышение качественной продуктивности насаждений – задача интенсивного лесного хозяйства. № 1-86.
- Арефьев Ю.Ф., Мамедов М.М.** Прогноз и контроль патогенеза в лесных экосистемах. № 3-61.
- Бессчетнова Н.Н., Бессчетнов В.П., Кулькова А.В., Мишукова И.В.** Содержание крахмала в тканях побегов разных видов ели (*Picea A. Dietr.*) в условиях интродукции. № 4-57.
- Бобринев В.П., Пак Л.Н., Банщикова Е.А.** Агротехника выращивания семян ели сибирской в Забайкальском крае. № 3-70.
- Гаврилова О.И., Гаврилов В.Н.** Формирование сосново-березовых молодняков на осушаемых переходных болотах Южной Карелии. № 6-36.
- Гаврилова О.И., Пак К.А., Морозова И.В., Юрьева А.Л.** Формирование искусственных основных древостоев в условиях карельской таежной зоны. № 4-23.
- Глухих В.Н., Охлопкова А.Ю.** Формирование смоляных кармашков в стволах деревьев лиственницы даурской. № 5-35.
- Грибов С.Е., Карбасников А.А., Карбасникова Е.Б., Корчагов С.А.** Оценка перспективности использования лиственницы сибирской (*Larix sibirica*) в озеленении г. Вологды. № 2-95.
- Грязькин А.В., Кочкин А.А., Петрик В.В.** Динамика состава растительности нижних ярусов в парковых фитоценозах. № 6-46.
- Дебков Н.М., Ильинцев А.С.** Оценка неистощительности лесопользования в рамках добровольной лесной сертификации по схеме FSC. № 6-23.
- Добровольский А.А., Богданова Л.С., Нешатаев В.Ю.** Особенности липняков на территории Лисинского участкового лесничества Учебно-опытного лесничества. № 5-21.
- Ивонин В.М., Воскобойникова И.В.** Обоснование допустимых рекреационных нагрузок в лесах Западного Кавказа. № 3-40.
- Ивонин В.М., Воскобойникова И.В.** Рекреационная нагрузка и механическая эрозия на горных склонах в лесах Колхиды. № 1-64.
- Ильинцев А.С., Третьяков С.В., Ершов Р.А., Федотов И.В.** Влияние добровольно-выборочных рубок на текущий прирост древесины в высоковозрастных ельниках. № 1-95.
- Каштелян Т.В.** Формирование системы воспроизводства лесных ресурсов Беларуси. № 1-40.
- Килошева Н.В., Феклистов П.А., Ежова Н.В., Болотов И.Н., Филиппов Б.Ю.** Сравнительный анализ содержания минеральных элементов в древесине сосны и ели. № 5-64.
- Кищенко И.Т.** Влияние климатических факторов на сезонный рост деревьев лиственных лесобразующих видов в таежной зоне. № 1-51.
- Кищенко И.Т.** Сезонный рост и развитие *Juniperus communis* L. в таежной зоне. № 3-31.
- Ковязин В.Ф., Кан К.Х., Фам Т.К.** Оценка видового состава древесных растений в ландшафтах Павловского парка Санкт-Петербурга. № 5-82.
- Коновалов В.Н., Зарубина Л.В.** Влияние хлорсодержащих удобрений на метаболизм ели и сосны в северотаежных фитоценозах. № 3-100.
- Коптев С.В., Третьяков С.В., Богданов А.П., Ильинцев А.С., Демиденко С.А.** Нормативы таксации ольховых древостоев методом реласкопических круговых площадок. № 5-53.
- Корчагов С.А., Грибов С.Е., Обрядина О.Ю.** Экономическая оценка создания лесных культур различным видом посадочного материала. № 5-92.
- Маркина З.Н.** Лесорастительные свойства почв и их влияние на рост сосновых насаждений в условиях радиоактивного загрязнения в Брянской области. № 3-85.
- Матвеева Р.Н., Милютин Л.И., Буторова О.Ф., Братилова Н.П.** Отбор деревьев кедра сибирского высокой репродуктивной способности на географической лесосеменной плантации. № 2-9.
- Мельник П.Г., Глазунов Ю.Б., Мерзленко М.Д.** Рост и производительность архангельского климата сосны обыкновенной в условиях Подмосквы. № 1-9.
- Мерзленко М.Д.** Актуальные аспекты искусственного лесовосстановления. № 3-22.
- Моисеев Н.А.** Лесоустройство: прошлое, настоящее и будущее. № 3-9.
- Моисеев Н.А.** Лидеру лесопромышленности России, профессору М.М. Орлову – 150 лет со дня рождения (1867–1932). № 5-9.
- Новосёлов А.С., Дружинин Н.А.** Сезонная динамика смолопродуктивности осушаемых сосновых древостоев. № 1-21.

Пастухова А.М. Перспективность отбора полусибов кедра сибирского по интенсивности роста в раннем возрасте. № 5-73.

Пилипко Е.Н. Трофическое влияние лося (*Alces alces* L.) на территории смешанных и лиственных молодняков Вологодской области в летний период. № 2-52.

Пинаевская Е.А., Тарханов С.Н. Изменчивость радиального прироста у половых типов сосны обыкновенной в условиях постоянного избыточного увлажнения почв. № 2-85.

Рыбакова Н.А., Рубцов М.В. Влияние рубки древостоев березы на семеношение ели предварительной генерации в южной тайге. № 2-21.

Самсонова И.Д. Медопродуктивность растительных формаций на землях лесного фонда степного Придонья. № 4-69.

Соколов А.И., Пеккоев А.Н., Харитонов В.А. Последствие 30-летнего ежегодного применения фосфорных удобрений на рост культур сосны по диаметру и качеству древесины. Сообщение II. № 3-49.

Соколова Г.В., Верхотуров А.Л., Егоров В.А. Использование наземных и спутниковых наблюдений при анализе лесогидрологических процессов в бассейне р. Амур. № 6-9.

Сунгурова Н.Р., Бабич Н.А., Сунгуров Р.В., Любов В.К., Попов А.Н. Энергетический потенциал культур сосны и ели. № 3-78.

Тюкавина О.Н., Ильинцев А.С., Ершов Р.А. Влияние прореживаний на радиальный прирост сосны обыкновенной. № 4-34.

Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Бабич Н.А. Черты сходства динамики длины хвои по годам роста сосны обыкновенной в различных условиях произрастания. № 1-73.

Тюкавина О.Н., Клевцов Д.Н., Дроздов И.И., Мелехов В.И. Плотность древесины сосны обыкновенной в различных условиях произрастания. № 6-56.

Хетагуров Х.М. Возобновительный потенциал клена Траутфеттера в горных лесах Республики Северная Осетия–Алания. № 1-30.

Черных Л.В., Черных Д.В., Денисов С.А., Черных В.Л. Лесоводственно-статистический подход к назначению способов лесовосстановления при лесоустройстве. № 4-9.

Чураков Б.П., Битяев С.Г., Чураков Р.А. К вопросу об естественном возобновлении леса в очагах корневой губки. № 4-45.

Шабалина О.М., Безкорвайная И.Н., Баранчиков Ю.Н. Изменение нижних ярусов фитоценозов пихтовых лесов в очагах

массового размножения уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blandf.) на территории Красноярского края. № 2-67.

Шавнин С.А., Лебедев В.А., Галако В.А., Власенко В.Э. Комплексная оценка состояния лесных генетических резерватов Свердловской области с помощью методов дистанционного и наземного обследования. № 1-104.

Швец М.В. Бактериальная водянка березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Житомирском Полесье Украины. № 4-84.

Шевелев С.Л., Ефремова М.Н. Связь между средними таксационными показателями древостоев березы в Красноярско-Ачинско-Канском лесостепном районе. № 2-42.

Ширнин В.К., Кострикин В.А., Ширнина Л.В., Крюкова С.А. Лесовосстановление дуба черешчатого сеянцами с закрытой корневой системой. № 2-32.

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

Герц Э.Ф., Теринов Н.Н., Безгина Ю.Н., Уразова А.Ф., Перепечина Т.А. Рациональная технология рубок с трелевкой заготовленной древесины минитракторами под пологом древостоя. № 2-119.

Заикин А.Н., Рыжикова Е.Г., Теремкова И.И. Метод оперативного планирования и управления лесосечными работами. № 2-107.

Казиков Н.В., Рябухин П.Б. Методы учета древостоев лесосек и мониторинга произведенной продукции. № 5-103.

Макарова Ю.А., Мануковский А.Ю. Использование геосинтетических материалов для защиты откосов земляного полотна лесовозной автомобильной дороги в условиях подтоплений. № 3-114.

Мясищев Д.Г., Путинцев С.А. Оптимизация расхода топлива роторного измельчителя растительных остатков. № 1-129.

Орловский С.Н. Обоснование технологии применения и компоновки тракторного агрегата для посадки лесных полос на опушечных территориях. № 6-65.

Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Методика расчета энергетических и динамических параметров агрегата для понижения пней и режимов резания его рабочего органа. № 4-106.

Орловский С.Н., Карнаухов А.И. Обоснование технологии применения и компоновки агрегата для понижения пней. № 3-123.

Посыпанов С.В. Определение геометрических параметров плавающего транспортно-го пакета круглых лесоматериалов численным методом. № 1-141.

Рукомойников К.П., Царев Е.М., Анисимов С.Е. Обоснование среднего расстояния трелевки лесоматериалов при комплексном освоении лесных участков. № 4-95.

Тамби А.А., Григорьев И.В., Куницкая О.А. Обоснование необходимости внедрения процессов промышленного лесопиления в структуру лесозаготовительной отрасли. № 6-76.

Торопов А.С., Заикин А.Н., Меркелов В.М. Особенности переработки древесины, загрязненной радионуклидами. № 1-119.

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Агеев С.П. Нормирование электропотребления транспортных устройств в деревообрабатывающей промышленности. № 4-130.

Агеев С.П. Нормирование электроэнергии, потребляемой лесопильными рамами. № 1-154.

Алексеев А.Е., Алабышев А.П. Контроль плоскостности круглых пил. № 6-104.

Буглаев А.М., Бокачева М.П., Сиваков В.В. Исследование возможности снижения вибрации деревообрабатывающего оборудования. № 3-132.

Булатасов Э.О., Попов В.П., Ханин В.П. Влияние формы режущей кромки и передней поверхности ножа на силовые показатели измельчения древесины. № 2-149.

Ермоченков М.Г. Кинетические параметры процесса сушки древесины. № 6-114.

Замилова А.Ф., Галиханов М.Ф., Пестова Н.А. Влияние постоянного электрического поля на влагостойкость и прочность фанерных материалов. № 5-127.

Лукаш А.А., Лукутцова Н.П. Дифференцирование способов переработки древесины с ядровой гнилью. № 3-143.

Любов В.К., Попов А.Н., Попова Е.И., Малыгин П.В., Солнышкова Л.М. Исследование эффективности сжигания древесного биотоплива в теплогенерирующей установке. № 4-149.

Максимук Ю.В., Пономарев Д.А., Курсевич В.Н., Фесько В.В. Теплота сгорания древесного топлива. № 4-116.

Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Пономарева Н.Г., Тюрикова Т.В. Влияние относительной длины фильеры матрицы на давление прессования термомодифицированной березовой коры в пресс-грануляторах валкового типа. № 5-110.

Мюллер О.Д., Мелехов В.И., Пономарева Н.Г., Тюрикова Т.В., Хрусталева М.О. Математическая модель процесса прессования термомодифицированной древесной коры в пресс-грануляторах барабанного типа. № 2-130.

Памфилов Е.А., Шевелева Е.В. Особенности исследования изнашивания режущих инструментов для переработки древесных материалов. № 6-89.

Турков А.В., Коробко В.И., Макаров А.А. Экспериментальные исследования систем перекрестных балок из деревянных элементов на квадратном плане при изменении динамических и статических нагрузок. № 5-119.

Черепенин Ф.В., Сковпень С.М., Ульяничев Д.А. Цифровое моделирование при обработке литейных моделей из древесины и древесных материалов на станках токарной группы. № 1-166.

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Абрамова В.В., Гурьев А.В. Оценка равномерности формирования макроструктуры офисной бумаги. № 4-172.

Бадюгина А.И., Третьяков С.И., Кутакова Н.А., Коптелова Е.Н. Исследование кинетических закономерностей процесса СВЧ-экстракции луба в сравнении с березовой корой. № 3-164.

Бровко О.С., Паламарчук И.А., Сысоева Н.В., Вальчук Н.А., Бойцова Т.А., Боголицын К.Г., Дубовый В.К. Фильтрующие материалы на основе минеральных волокон с биополимерным слоем. № 1-186.

Врублевская В.И., Матусевич В.О., Кузнецова В.В. Обоснование механизма взаимодействия компонентов древесины с влагой. № 3-152.

Гораздова В.В., Дернова Е.В. Влияние многослойного формирования на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости картона. № 6-159.

Захаров И.В., Захарова Н.Л., Канарский А.В., Окулова Е.О., Казаков Я.В., Дулькин Д.А. Физико-механические свойства картона, обработанного биомодифицированным глютенном. № 6-135.

Иванова В.Н., Уварова Д.Ю., Махотина Л.Г., Аким Э.Л. Переработка волокнистых полуфабрикатов высокого выхода. № 6-145.

Лебедев И.В., Казаков Я.В. Моделирование структуры бумажного листа. № 2-160.

Лучинкин С.Г., Кожухов В.А., Алашкевич Ю.Д. Получение теплоизоляционных материалов на основе вторичного целлюлозного волокна. № 6-151.

Молодцова М.А., Севастьянова Ю.В. Возможности и перспективы использования микроволнового излучения в промышленности (обзор). № 2-173.

Назиева А.И., Галиханов М.Ф., Мусина Л.Р. Изучение физико-механических свойств и процесса биоразложения модифицированной мешочной бумаги. № 5-150.

Романенко К.А., Богданович Н.И., Канарский А.В. Получение активных углей пиролизом гидролизного лигнина. № 4-162.

Смолин А.С., Щербак Н.В., Лоренгель М.А., Дубовой Е.В. Оценка эффективности очистки воздуха минеральноволокнистыми сепараторными бумагами. № 6-126.

Тюрмина Е.С., Ильичев И.С., Радбиль А.Б., Семеньева Л.Л., Лазарев М.А., Маврина Е.А., Шалашова А.А. Очистка сульфатного скипидара-сырца от серасодержащих соединений. № 1-177.

Юрьев Ю.Л., Гиндулин И.К., Дроздова Н.А. Варианты переработки низкосортной древесины на углеродные материалы. № 5-139.

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

Романовский М.Г., Коровин В.В., Шекалев Р.В. Биодegradация гумуса. № 4-187.

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

Бабич Н.А. Словарь-справочник «Эколого-географические термины в лесоведении». № 5-159.

Хамитов Р.С. Новая книга «Геоботанические исследования в Европейской части России». № 4-197.

ЮБИЛЕИ

Богданович Н.И., Третьяков С.И., Комаров В.С., Мелехов В.И., Кутакова Н.А., Кузнецова Л.Н., Лагунова Е.А. Юбилей профессора Н.А. Макаревича. № 2-188.

Ермолин Б.В., Клевцов Д.Н., Корчагов С.А., Марич С.Н., Мелехов В.И., Мерзленко М.Д., Феклистов П.А. К юбилею профессора Н.А. Бабича. № 6-170.

Мелехов В.И., Бабич Н.А., Братилова Н.П. Матвеева Римма Никитична – ученый-селекционер. № 3-176.

Морозова Л.В., Любова С.В., Коптев С.В., Третьяков С.В., Бахтин А.А. Елена Николаевна Наквасина – педагог, ученый. № 6-172.

Пахучий В.В., Селиванов А.А., Дружинин Н.А. Юбилей профессора Бориса Васильевича Бабикова. № 3-179.

«Лесной журнал» публикует научные статьи по всем отраслям лесного дела, сообщения о внедрении законченных исследований в производство, о передовом опыте в лесном хозяйстве и лесной промышленности, информацию о научной жизни высших учебных заведений, рекламные материалы и объявления. Предназначается для научных работников, аспирантов, инженеров лесного хозяйства и лесной промышленности, преподавателей и студентов.

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ» № 5/360

Подписной индекс: 70368, 93510

Выпускающий редактор И.В. Кузнецова, редактор Л.С. Окулова
Компьютерная верстка О.В. Деревцовой, Е.Б. Красновой
Перевод Е.Г. Кузнецовой

Сдан в набор 06.10.2017. Подписан в печать 15.11.2017. Заказ № 5616
Форм. бум. 70×108 1/16. Гарнитура Таймс. Усл. печ. л. 15,350.
Уч.-изд. л. 10,330. Тираж 1000 экз.
Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова

Адрес редакции: 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17,
тел./факс: +7 (818-2) 21-61-18,
e-mail: forest@narfu.ru, <http://lesnoizhurnal.ru/>

Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-68484 от 27.01.2017.

Издательский дом им. В.Н. Булатова САФУ
163060, г. Архангельск, ул. Урицкого, 56

© ИВУЗ, «Лесной журнал», 2017

“Lesnoy Zhurnal” publishes scientific articles covering all areas of forestry, updates its readers on the use of completed research in production and on the best practice in forest industry and management. On its pages you can also find information about scientific activities at higher educational institutions, as well as advertisements and announcements. The journal is intended for scientists, PhD students, forestry engineers, university and college faculties, and students.

BULLETIN OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS
“LESNOY ZHURNAL” no. 6/360

Subscription index: 70368, 93510

Executive editor I.V. Kuznetsova, editor L.S. Okulova
Make-up by O.V. Derevtsova, E.B. Krasnova
Translator E.G. Kuznetsova

Sent to the printer's 06.10.2017. Signed in print 15.11.2017. Order no. 5616
Paper format 70×108 1/16. Times Font. Conv. printer's sh. 15.350.
Acad. publ. sh. 10.330. Circulation 1000 copies.
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

Contacts: Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation
phone/fax: +7 (8182) 21-61-18,
e-mail: forest@narfu.ru, <http://lesnoizhurnal.ru>

Registration certificate ПИ № ФС77-68484 issued on 27.01.2017.

NArFU Publishing House under name of V.N. Bulatov
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov”
ul. Uritskogo, 56, Arkhangelsk, 163060, Russian Federation



© IVUZ, “Lesnoy Zhurnal”, 2017

ИЗВЕСТИЯ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ
«Лесной журнал»



Подписка на I полугодие 2018 г.
на «Лесной журнал» принимается по каталогам
Агентства «Роспечать» «Газеты. Журналы»(индекс 70368),
«Пресса России»,
серия «Известия высших учебных заведений»(индекс 93510).

Адрес редакции: 163002, Россия,
г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17.
Тел./факс: (818-2) 21-61-18
E-mail: forest@narfu.ru

ISSN 0536 – 1036
DOI:10.17238/issn0536–1036
Изв. вузов. Лесной журнал, № 6, 1 – 178