

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал
№ 4 ' 2017 Том 21

Главный редактор

Санаев Виктор Георгиевич, проф., д-р техн. наук, директор
Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Редакционный совет журнала

Артамонов Дмитрий Владимирович, проф., д-р техн. наук,
Пензенский ГУ, Пенза

Ашраф Дарвиш, ассоциированный профессор, факультет
компьютерных наук, Университет Хелуан, Каир, Египет,
Исследовательские лаборатории Machine Intelligence
(MIR Labs), США

Беляев Михаил Юрьевич, д-р техн. наук, начальник отдела,
зам. руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королева,
Москва

Бемманн Альбрехт, проф., Дрезденский технический
университет, Институт профессуры для стран Восточной
Европы, Германия

Драпалюк Михаил Валентинович, профессор, д-р техн. наук,
проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВПО «ВГЛТА»,
Воронеж

Евдокимов Юрий Михайлович, профессор, канд. хим. наук;
академик Нью-Йоркской академии наук, чл.-корр. РАЕН, член
центрального правления Нанотехнологического общества
России, Москва

Залесов Сергей Вениаминович, проф., д-р с.-х. наук, УГЛТУ,
Екатеринбург

Запруднов Вячеслав Ильич, проф., д-р техн. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Иванкин Андрей Николаевич, профессор, д-р хим. наук,
академик МАНВШ, Мытищинский филиал
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Исаев Александр Сергеевич, академик РАН, Международный
институт леса, Москва

Карелайнен Тимо, проф., Университет Восточной Финляндии
г. Йоэнсуу, Лесной НИИ «Метла», Финляндия

Кирюхин Дмитрий Павлович, д-р хим. наук, ИПХФ РАН,
Черноголовка

Классен Николай Владимирович, канд. физ.-мат. наук,
ИФТТ РАН, Черноголовка

Кожухов Николай Иванович, академик РАН, проф.,
д-р экон. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва

Козлов Александр Ильич, канд. техн. наук, ученый секретарь
Совета ОАО «НПО ИТ», Королев

Комаров Евгений Геннадиевич, проф., д-р техн. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Корольков Анатолий Владимирович, проф., д-р физ.-мат. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Кох Нильс Элерс, проф., д-р агрономии в области лесной
политики, Президент IUFRO, Центр лесного и ландшафтного
планирования университета, г. Копенгаген, Дания

Кротт Макс, проф., специализация «Лесная политика»,
Георг-Аугуст-Университет, Геттинген

Леонтьев Александр Иванович, академик РАН, проф.,
д-р техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Липаткин Владимир Александрович, проф., канд. биол. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Мартынюк Александр Александрович, д-р с.-х. наук,
ФБУ ВНИИЛМ, Москва

Мелехов Владимир Иванович, проф., д-р техн. наук, академик
РАЕН, САФУ им. М. В. Ломоносова, Архангельск

Моисеев Николай Александрович, академик РАН, проф.,
д-р с.-х. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Нимц Петер, проф. физики древесины, д-р инж. наук,
Швейцарская высшая техническая школа Цюриха

Обливин Александр Николаевич, проф., д-р техн. наук,
академик РАЕН, МАНВШ, заслуженный деятель науки и
техники РФ, МГТУ им. Н.Э. Баумана Москва

Полещук Ольга Митрофановна, проф., д-р техн. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Родин Сергей Анатольевич, проф., д-р с.-х. наук, академик РАН,
ВНИИЛМ, Москва

Рыкунин Станислав Николаевич, проф., д-р техн. наук,
Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Стрекалов Александр Федорович, канд. техн. наук, РКК
«Энергия», ЗАО «ЗЭМ», Королев

Теодоронский Владимир Сергеевич, проф., д-р с.-х. наук,
академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва

Титов Анатолий Матвеевич, канд. техн. наук, зам. начальника
отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ, Королев

Федотов Геннадий Николаевич, д-р биол. наук,
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва

Чубинский Анатолий Николаевич, проф., д-р техн. наук,
СПбГЛТУ, Санкт-Петербург

Шадрин Анатолий Александрович, проф., д-р техн. наук,
академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана,
Москва

Шимкович Дмитрий Григорьевич, проф., д-р техн. наук,
ООО «Кудесник», Москва

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Забродина
Перевод М.А. Карпухина
Электронная версия Е.В. Жукова

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

Входит в перечень утвержденных ВАК РФ изданий для публикации трудов
соискателей ученых степеней

Материалы настоящего журнала могут быть перепечатаны и воспроизведены
полностью или частично с письменного разрешения издательства

Выходит с 1997 года

Адрес редакции и издательства
141005, Мытищи-5, Московская обл.,
1-я Институтская, 1
(498) 687-41-33,
les-vest@mgul.ac.ru

Дата выхода в свет 28.08.2017.
Тираж 600 экз.
Заказ №
Объем 13,25 п. л.
Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information journal
№ 4 ' 2017 Vol. 21

Editor-in-chief

Sanaev Victor Georgievich, professor, Dr.Sci.(Tech.), director of BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Editorial council of the journal

Artamonov Dmitriy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Penza State

Ashraf Darwish, Associate Professor of Computer Science, Faculty of Computer Science, Helwan University, Cairo, Egypt, Machine Intelligence Research Labs (MIR Labs), USA

Belyaev Mikhail Yur'evich, Dr.Sci.(Tech), Head of Department, Deputy Director of S.P. Korolev RSC «Energia», Moscow

Bemman Al'brekht, professor, the Dresden technical university, professorate Institute for countries of Eastern Europe, Germany

Drapalyuk Mikhail Valentinovich, professor, Dr.Sci.(Tech), Vice-Rector for Science and Innovation Voronezh State Academy of Forestry, Voronezh

Evdokimov Yuriy Mikhaylovich, professor, Ph.D.(Chemical); academician of the New York Academy of Sciences, corr. Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of Nanotechnology Society of Russia, Moscow

Zalesov Sergey Veniaminovich, professor, the Dr.Sci.(Agricultural), USFEU, Ekaterinburg

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Ivankin Andrey Nikolaevich, professor, Dr.Sci.(Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Isaev Aleksandr Sergeevich, academician of the Russian Academy of Sciences, International institute of the wood, Moscow

Karjalainen Timo, professor, university of East Finland Joensuu, forest scientific research institute «Metla», Finland

Kiryukhin Dmitriy Pavlovich, Dr.Sci.(Chemical), IPCC RAS, Chernogolovka

Klassen Nikolay Vladimirovich, Ph.D.(Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka

Kozhukhov Nikolay Ivanovich, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci.(Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph.D.(Tech), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev

Komarov Evgeniy Gennadievich, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, professor, Dr.Sci.(Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Kokh Nil's Elers, professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark

Krott Maks, professor of Forest polity specialization, George-August-Universität, Goettingen

Leont'ev Aleksandr Ivanovich, academician of the Russian Academy of Sciences, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU, Moscow

Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, professor, Ph.D.(Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich, Dr.Sci.(Agricultural), VNIILM, Moscow

Melekhov Vladimir Ivanovich, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk

Moiseev Nikolay Aleksandrovich, professor, Dr.Sci. (Agricultural) academician of the Russian Academy of Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Niemz Peter, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenössische Technische Hochschule Zurich)

Oblivin Aleksandr Nikolaevich, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MANVSh, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow

Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Rodin Sergey Anatol'evich, professor, the Dr.Sci.(Agricultural), ARRISMF, Moscow

Rykunin Stanislav Nikolaevich, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Strekalov Aleksandr Fedorovich, Ph.D.(Tech.), Rocket and space corporation «ENERGIA», Korolev

Teodoronskiy Vladimir Sergeevich, professor, Dr.Sci.(Agricultural), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Titov Anatoliy Matveevich, Ph.D.(Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIMASH, Korolev

Fedotov Gennadiy Nikolaevich, Dr.Sci.(Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow

Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich, professor, Dr.Sci.(Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg

Shadrin Anatoliy Aleksandrovich, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Shimkovich Dmitriy Grigor'evich, professor, Dr.Sci.(Tech.), OOO «Kudesnik», Moscow

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Zabrodina

Translation by M.A. Karpushina

Electronic version E.V. Zhukova

Founder BMSTU

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media Certificate on registration ПИ № ФС 77-68118 of 21.12.2016

The journal is included in the list of approved VAK of the Russian Federation for editions for the publication of works of competitors of scientific degrees

Materials of the present magazine can be reprinted and reproduced fully or partly with the written permission of publishing house

It has been published since 1997

Publishing house
141005, Mytishchi, Moscow Region, Russia
1st Institut'skaya street, 1
(498) 687-41-33
les-vest@mgul.ac.ru

It is sent for the press 28.08.2017.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 13,25 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ	
Ксавье Деглиз «Экологический менеджмент» лесов и изделий из древесины	6
Карпачев С.П., Диев Р.И. Моделирование технологического процесса уборки захламленности леса портативной лебедкой	10
Алексеев А.Ю., Никитенко Е.А. Перспективы создания лесных плантаций на Дальнем Востоке России	15
Котов А.А., Алябьев А.Ф. Исследование экологической безопасности уничтожения нежелательной древесной растительности химическим методом	19
СТРОЕНИЕ, СВОЙСТВА И КАЧЕСТВО ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ	
Данилов Д.А., Тюрин Д.С. Строение и плотность древесины ели в плантационных культурах	25
Вариводина И.Н., Высоцкий А.А., Вариводин В.А. Смолопродуктивность и технические свойства древесины	31
Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю., Пастори З. Изменение молекулярно-топологического строения древесины дуба при проявлении эффекта памяти формы	36
Угрюмов С.А. Исследование прочностных свойств фанеры с внутренним заполнением на основе отходов от форматной обрезки	42
ПРОГРЕССИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ТЕХНИКА ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ	
Иванов Г.А., Котов А.А. Параметры колебаний ствола березы при трелевке	47
Макеев В.Н., Сушков С.И., Ларионов В.Я., Левушкин Д.М. Коэффициент эффективности транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств	53
ИННОВАЦИОННЫЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРОИЗВОДСТВ	
Bogdan Bedeleian, Sergiu Georgescu Optimisation of end to edge butt joint with response surface methodology: a preliminary study	58
Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Галяветдинов Н.Р., Зиятдинов Р.Р. Газификация торрефицированного топлива при выработке электроэнергии для децентрализованных потребителей	63
Emilia-Adela Salca Optimization of the cutting schedule during sanding	70
Галкин В.П., Горяев А.А., Баланцева Н.Б., Калиничева О.А., Калинина А.А. Особенности высокочастотной сушки пиломатериалов	73
Скуратов Н.В. Влияние поверхностей влажности на влагообмен при низкотемпературной сушке древесины	78
Гранкин А.Ю., Зарубина А.Н., Савицкий А.С., Шевляков А.А. Композиционные материалы из отходов металлизированной бумаги на термопластичном связующем	83
НОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ТЕХНОЛОГИИ В ДЕРЕВЯННОМ ДОМОСТРОЕНИИ	
Zoltan Pasztory, Imre Czupy, Gorbacheva G.A. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous	89
Паринов Д.А. Пропиточная установка для повышения антифрикционных свойств конструкционного материала на основе модифицированной древесины	95
Курышов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины ясеня толщиной 50 мм в конвекционных сушильных камерах	101

CONTENTS

Preface	3
ENVIRONMENTAL ASPECTS OF FOREST MANAGEMENT AND FOREST RESTORATION	
Xavier Deglise «Ecological management» of forests and wood products	6
Karpachev S.P., Diev R.I. Modeling of technological processes of litter harvesting in the forest with a portable winch	10
Alekseenko A.Yu., Nikitenko E.A. The prospects of forest plantation creation in russian far east	15
Kotov A.A., Alyabiev A.F. The study of ecological safety of the destruction undesirable woody vegetation by chemical method	19
STRUCTURE, PROPERTIES AND QUALITY OF TIMBER AND TIMBER MATERIALS	
Danilov D.A., Tyurin D.S. The structure and density of spruce wood in plantation crops	25
Varivodina I.N., Vysotsky A.A., Varivodin V.A. Resin productivity and technical properties of wood	31
Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu., Pasztory Z. The change of the molecular-topological structure of oak wood at shape memory effect	36
Ugryumov S.A. Study of strength properties of plywood with an internal filling on the basis of waste	42
PROGRESSIVE TECHNOLOGIES AND THE TECHNOLOGY OF LOGGING	
Ivanov G.A., Kotov A.A. The parameters of the oscillations of the birch tree while skidding	47
Makeev V.N., Sushkov S.I., Larionov V.Ya., Levushkin D.M. The coefficient of efficiency of transport-freight of timber production	53
INNOVATIVE ECO-FRIENDLY TECHNOLOGIES OF WOODWORKING PRODUCTION	
Bogdan Bedeleian, Sergiu Georgescu Optimisation of end to edge butt joint with response surface methodology: a preliminary study	58
Safin R.R., Khakimzyanov I.F., Galyavetdinov N.R., Ziatdinov R.R. Gasification of torrefied fuel at power generation for the decentralized consumers	63
Emilia-Adela Salca Optimization of the cutting schedule during sanding	70
Galkin V.P., Gorjaev A.A., Balantseva N.B., Kalinicheva O.A., Kalinina A.A. Features high-frequency drying lumber	73
Skuratov N.V. Effect of surface moisture content on external mass exchange at low-temperature wood drying	78
Grankin A.Y., Zarubina A.N., Savickiy A.S., Shevlyakov A.A. Application of composite material by using metallized paper production waste	83
NEW MATERIALS AND TECHNOLOGIES IN WOODEN HOUSE CONSTRUCTION	
Zoltan Pasztory, Imre Czupy, Gorbacheva G.A. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous	89
Parinov D.A. Impregnating unit for increasing the antifriction properties of structural material based on modified wood	95
Kuryshov G.N., Kosarin A.A. Impulse drying of saw timber of thickness 50 mm in convective drying cameras	101

ПРЕДИСЛОВИЕ

2017 г. в Российской Федерации объявлен Годом экологии. В соответствии с планом мероприятий в 2017 г. проводится цикл всероссийских и региональных совещаний по обсуждению наиболее актуальных вопросов экологии, в числе которых: совершенствование законодательства в сфере экологии, переход на наилучшие доступные технологии, совершенствование управления отходами, особо охраняемые природные территории, охрана водных ресурсов, охрана лесных ресурсов и лесовосстановление, охрана животного мира, экологическое просвещение и региональные программы. В России крупнейшей лесной державе, обращение к экологическим проблемам лесного комплекса свидетельствует о повышенном внимании государства и подчеркивает актуальность работ в данном направлении.

В рамках мероприятий, посвященных Году экологии, в Мытищинском филиале Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана 27–29 сентября 2017 г. проводится международная научно-практическая конференция «Экологические аспекты использования древесины как природного возобновляемого ресурса». Организатором конференции является Региональный координационный совет по современным проблемам древесиноведения (РКСД), функционирующий под эгидой Международной академии наук о древесине (IAWS). В состав РКСД входят ведущие ученые Белоруссии, Болгарии, Венгрии, Германии, Греции, Грузии, Латвии, Польши, России, Румынии, Словакии, Украины, Швейцарии, Эстонии. Тематика конференции охватывает широкий спектр различных исследований по проблемным вопросам в отраслях лесопромышленного комплекса: экологические аспекты лесопользования и лесовосстановления; строение, свойства и качество древесины и древесных материалов; прогрессивные технологии и техника лесозаготовительных производств; инновационные экологически чистые технологии деревоперерабатывающих производств; новые материалы и технологии в деревянном домостроении. Ведущие ученые, преподаватели, молодые исследователи и аспиранты из Венгрии, России, Румынии и Франции представили доклады на конференцию. В этом номере журнала «Лесной вестник / Forestry Bulletin», изданном к началу конференции, опубликованы работы участников.

Надеюсь, что международная научно-практическая конференция «Экологические аспекты использования древесины как природного возобновляемого ресурса» станет площадкой для интересных дискуссий и конструктивного обмена мнениями по проблемным вопросам экологии лесного комплекса. Желаю всем участникам конференции плодотворной работы, творческих результативных дискуссий, новых партнерских и дружеских контактов.

**Председатель РКСД, директор МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана,
академик-секретарь РАЕН, академик-секретарь МАН ВШ,
академик IAWS, д-р техн. наук, профессор
Виктор Георгиевич Санаев**

«ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МЕНЕДЖМЕНТ» ЛЕСОВ И ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

Ксавье Деглиз

Université de Lorraine, LERMaB, Boulevard des Aiguillettes, BP 70239, 54506 Vandœuvre lès Nancy Cedex, France

Xavier.deglise@univ-lorraine.fr

Антропогенное загрязнение атмосферы парниковыми газами (ПГ), образующимися в результате сжигания ископаемого топлива, и вырубка лесов являются причинами потепления климата вследствие увеличения средней температуры на поверхности Земли и приводят к разрушительным последствиям. Углекислый газ, который представляет 60 % от общего объема выбросов ПГ, играет самую важную роль в повышении температуры Земли, существует линейная корреляция между ростом температуры и концентрацией углекислого газа. Для снижения концентрации CO₂ необходим «экологический менеджмент» лесов и изделий из древесины. Наиболее эффективными мерами изоляции углекислого газа путем его удаления и хранения из атмосферы в «поглотителях углерода» (таких как океаны, леса или почвы) являются: выращивание деревьев в плантационных лесах; изолирование углерода в деревьях вместо сжигания стволов деревьев; увеличение долговечности изделий из древесины; изолирование углекислого газа в возобновляемых химических продуктах (переработка древесной массы) и сырье; замена невозобновляемой энергии на энергию из лесных насаждений и древесных отходов, совместно с изделиями из древесины с истекшим сроком службы. Использование коэффициента EROEI или EROI (соотношение полученной энергии к затраченной, энергетическая рентабельность) позволяет оптимизировать выбор возобновляемого источника энергии.

Ключевые слова: экологический менеджмент, выбросы парниковых газов, связывание углерода, лесные экосистемы, изделия из древесины

Ссылка для цитирования: Деглиз Ксавье «Экологический менеджмент» лесов и изделий из древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 6–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9

Потепление климата вследствие увеличения средней температуры на поверхности Земли несет разрушительные последствия, вызывая повышение уровня моря. В большинстве случаев это вызвано антропогенным загрязнением атмосферы парниковыми газами, образующимися в результате сжигания ископаемого топлива, и вырубкой лесов.

Углекислый газ CO₂, который составляет 60 % от общего объема выбросов парниковых газов (ПГ) — диоксида углерода, метана, хлорфторированных углеводородов, озона, оксидов азота — играет самую важную роль в повышении температуры Земли, несмотря на то что ИК-спектр поглощения у него не такой высокий и сильный, как у остальных ПГ и воды, концентрация которой не меняется благодаря водному балансу Земли. Существует линейная корреляция между ростом температуры и концентрацией углекислого газа.

Наибольшее количество выбросов CO₂ наблюдается в Китае (резкий всплеск начиная с 2000 г.) и Северной Америке, которая смогла стабилизировать количество выбросов. Однако последствия новой политики, возможно приведут к увеличению количества выбросов. Европа с 1970 г. стабилизировала количество выбросов парниковых газов до 25 % от суммы выбросов США и Китая.

Поэтому совершенно необходимо осуществлять эффективную изоляцию углекислого газа путем его удаления из атмосферы и хранения в «поглотителях углерода» (таких как океаны, леса

или почвы). Это значит, что обязательной является вырубка лесов в оптимальный период их жизни и выращивание новых лесов. К подобным методам в Европе прибегают Австрия и Швейцария, но очень часто возникают дискуссии с населением, которое не понимает, что только живой лес может быть «поглотителем углерода»!

Основными методами связывания углерода являются:

1. Изолирование двуоксида углерода в лесах, где углерод накапливается (поглотитель) и сохраняется (накопитель) в лесной экосистеме (биомасса и лесной почве), путем:

- увеличения количества лесов;
- повышения производительности;
- ограничения лесозаготовок;
- сокращения потерь лесов от пожаров и насекомых (15 млн га уничтожены в Британской Колумбии);
- введения новых лесоводственных подходов.

2. Изолирование углерода (углекислого газа) в лесных продуктах (пиломатериалах, панелях, мебели, бумаге) до момента их переработки в топливо или энергию. Развитие производства и использования лесных продуктов вместе с увеличением их долговечности (защитой лесов) позволит изолировать больше углекислого газа.

Наиболее важным поглотителем углекислого газа являются деревянные здания, несмотря на то что лесные товары изолируют углекислый газ хуже, чем лесная экосистема. Во всяком случае,

сейчас наблюдается рост потребности в строениях из древесины, даже таких как многоэтажные и офисные здания.

3. Замещение невозобновляемых химикатов и необработанного сырья. производства продукции из древесины устойчиво управляемых лесов, замена химикатов, полимеров, производимых из нефти или таких материалов, как бетон, ПВХ, алюминий, также способствуют смягчению последствий изменения климата. При переработке древесной массы и обработке древесины очень часто выделяется меньше парниковых газов, чем при производстве других химикатов или материалов, получаемых из невозобновляемых источников. Кроме того, из-за загрязнения океанов пластиком необходимо заменить пластиковую упаковку на древесную, картонную и т. п.

4. Замещение невозобновляемых источников энергии. Для нейтрализации действия углекислого газа можно заменить невозобновляемые источники энергии на древесину, что позволит уменьшить количество выбросов в атмосферу.

Древесина уже играет важную роль в нашей жизни, из нее получают половину возобновляемой энергии в Европе. Существуют разные источники древесины для производства энергии:

- 50 % — стволы деревьев;
- 50 % — отходы лесозаготовок после удаления древесины ствола (ветви, крона, корни и т. д.); непригодная древесина, оставшееся после каскадного использования (сначала — продукция на основе древесины, затем — повторно используемая или переработанная древесина и, наконец, используемая для получения энергии); промышленные отходы; черный щелок.

Среди возобновляемых источников энергии древесная энергия является самой важной, даже по сравнению с гидроэлектроэнергией. Прямое сжигание древесного топлива всегда более эффективно по сравнению с новыми процессами получения жидкого или газообразного топлива из нефти и природного газа.

Существует важный параметр, который нужно учитывать, если мы хотим оптимизировать ресурс биомассы, не тратя его напрасно. Этот параметр, коэффициент EROEI, или EROI (отношение полученной энергии к затраченной, энергетическая рентабельность), который редко

используется, позволяет оптимизировать выбор возобновляемого источника энергии.

В заключение можно сказать, что для обеспечения экологического управления лесами и древесной продукцией путем снижения концентрации CO₂ необходимо:

- выращивать деревья в плантационных лесах.
- изолировать углерод в деревьях вместо сжигания стволов деревьев;
- увеличить долговечность изделий из древесины;
- изолировать углекислый газ в возобновляемых химических продуктах (переработка древесной массы) и сырье;
- заменить невозобновляемую энергию на энергию из лесных насаждений и древесных отходов (включая изделия из древесины с истекшим сроком эксплуатации).

Список литературы

- [1] National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies. Available at: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- [2] Liste des espèces d'arbres rencontrés sur l'ensemble du territoire français. Available at: http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/AAER-Cahier_thematique_Biomasse-Energie-climat_Tome_2_Energiedes_bois_decembre-2011.pdf
- [3] The Carbon Sink of an Old-Growth Forest in China. CO₂ Science, 13 April 2011, v. 14, no. 15. Available at: <http://www.co2science.org/articles/V14/N15/EDIT.php>
- [4] Sent to LSU Agcenter / Louisiana Forest Products Development Center — Forest Sector. Forestry Products Interest Group. Available at: <http://www.lfpdc.lsu.edu/publications/bits/2016/20160428-Timber-Wooden-skyscraper-proposed-for-central-London.pdf>
- [5] Senate, House Introduce Timber Innovation Act. Available at: <http://www.awc.org/news/2017/03/07/senate-house-introduce-timber-innovation-act>
- [6] Le Carbone. Carbone Forêt-Bois : Des faits et des chiffres. Available at: http://www.fnbois.com/sites/default/files/mediatheque/Vademecum_Carbone-Foret-Bois_2012.pdf
- [7] Développer la construction bois en france pour ameliorer l'indépendance énergétique, reduire les émissions de gaz à effet de serre et developper l'emploi. Available at: http://www.codifab.fr/sites/default/files/etude_carbone_4_note_de_communication_filiere_bois_vf_mai_2015.pdf
- [8] Murphy D.J., Hall C.A.S. Year in review EROI or energy return on (energy) invested. Annals of the New York Academy of Sciences 1185, 2010, pp. 102–118.
- [9] Precious Forests – Precious Earth. Edited by Miodrag Zlatic. Available at: <http://www.intechopen.com/books/precious-forests-precious>

Сведения об авторах

Ксавье Деглиз — профессор, акад. IAWS, Академик Французской Академии сельского хозяйства, Университет Лотарингии, LERMaB, Нанси, Франция, Xavier.deglise@univ-lorraine.fr

Статья поступила в редакцию 17.07.2017 г.

«ECOLOGICAL MANAGEMENT» OF FORESTS AND WOOD PRODUCTS

Xavier Deglise

Université de Lorraine, LERMaB, Boulevard des Aiguillettes, BP 70239, 54506 Vandœuvre lès Nancy Cedex, France

Xavier.deglise@univ-lorraine.fr

The increasing concentrations of greenhouse gases (GHG) produced by human activities such as the burning of fossil fuels and deforestation are the main reasons of warming of the climate system due to the increasing of earth's average surface temperature and lead to destroying consequences. Carbon dioxide which represents 60 % of the total GHG plays the most important role in the rising of earth's temperature, we have the direct correlation between the increase of temperature and carbon dioxide concentration. It is necessary to have an ecological management of forests and wood products by reducing CO₂ concentration. There are the main strategies of carbon sequestration by its removal and storage from the atmosphere in carbon sinks (such as oceans, forests or soils): growing trees in plantation forests; sequestration carbon in forest and wood products instead of burning stem wood; increasing the durability of wood products; sequestration carbon in renewable chemicals (bio-refinery) and raw materials; substitution non renewable energy by energy coming from forest and wood residues (only), together with end of life wood products. Using of the parameter ERoEI or EROI (Energy Returned over Energy Invested) allows to optimize the choice of renewable energy.

Keywords: ecological management, greenhouse gases emissions, carbon sequestration, forest ecosystem, wood products

Suggested citation: Xavier Deglise «Ecological management» of forests and wood products. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 6–9. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-6-9.

Warming of the climate system due to the increasing of earth's average surface temperature is always faster and destroyer, giving rise to sea level. Most of it is caused by increasing concentrations of greenhouse gases (GHG) produced by human activities such as the burning of fossil fuels and deforestation.

Carbon dioxide which represents 60 % of the total GHG (greenhouse gases: carbon dioxide, methane, chlorofluorinated hydrocarbons, ozone, nitrous oxide) plays the most important role in the rising of earth's temperature, even if its IR Spectrum is not as large and intense as for the other GHG's...and for water which has a stable concentration because of the earth's liquid/water balance. We have a direct correlation between the increase of temperature and carbon dioxide concentration.

The most important world carbon dioxide emissions contributors are China (booming of emissions since 2000) and North America which has stabilized its emissions. Nevertheless the new policy will probably increase the emissions. Europe has stabilized its emissions since 1970, to 25 % of the emissions of US and China.

It is then absolutely necessary to implement, an efficient carbon dioxide sequestration by its removal and storage from the atmosphere in carbon sinks (such as oceans, forests or soils). It means that cutting trees at the optimal period of their lives and growing new forests is compulsory. In Europe it is the case of Austria and Switzerland, but very often there is a strong debate with the population who does not understand that only a «living» forest is able to play a role as carbon sink!

The main strategies of carbon sequestration are:

1. Sequestering carbon dioxide in forests where carbon is accumulated (sink) and maintain (storage) in the forest ecosystem (biomass and forest soil) by:

- extension of the resource
- increasing the productivity
- limiting harvesting
- reducing losses in forests by protection against fire and insects (15 million ha destroyed in British Columbia)

- new silvicultural approach

2. Sequestering carbon (dioxide) in forest products (sawn wood, panels, furniture, paper), until their end of life where they will be recycled or upgraded in fuel or energy. The development of the manufacturing and uses of forest products, together with the increasing in their durability (wood protection) will sequester more carbon.

The most important carbon sink is with wood buildings, even if the carbon sink of wood products is much lower than the carbon sink of the forest eco-system. Anyway there is a strong increase in wood construction even for tall and office buildings.

3. Substituting for non-renewable «chemicals» and raw materials. Products from sustainably managed forests, replacing chemicals, polymers...coming from oil or materials like concrete, PVC, aluminum, will reduce carbon emissions too. Wood bio-refinery and processing very often emits less GHG than the other chemicals or materials coming from non-renewable sources. Besides, due to plastics pollution in oceans it's becoming necessary to replace plastic bags and packaging by renewable products, wood and paper.

4. Substituting for non-renewable energy.

Assuming the carbon neutrality, wood from sustainable sources replaces non-renewable energy sources, to reduce carbon emissions. Unfortunately carbon neutrality for biomass is perhaps a myth!

Wood already plays an important role and accounts for half of the renewable energy in Europe. There are actually different sources of wood for energy:

- 50 % with clean wood from stems
- 50 % with residues from harvest operations after stem wood removal (branches, foliage, roots, etc); end of life wood coming from the cascaded use of wood (firstly wood-based products, secondly recovered and reused or recycled and finally used for energy); industry residues; black liquor.

Among renewable energies, wood energy is the most important, even before hydroelectricity. Wood direct combustion is always more efficient than new processes producing liquid or gaseous fuels replacing those coming from oil and natural gas.

There is an important parameter that we need to take in account if we want to optimize the biomass resource without wasting it. This parameter, EROEI or EROI (Energy Returned over Energy Invested), seldom used, allows to optimize the choice of renewable energy.

As a conclusion, we can say that to have an ecological management of Forests and wood products, by reducing CO₂ concentration, it is necessary to:

- Grow trees in plantation forests.
- Rather sequester carbon in forest and wood products instead of burning stem wood.
- Increase the durability of wood products.

– Sequester carbon in renewable chemicals (bio-refinery) and raw materials.

– Substitute non renewable energy by energy coming from forest and wood residues (only), together with end of life wood products.

References

- [1] National Aeronautics and Space Administration, Goddard Institute for Space Studies. Available at: <https://data.giss.nasa.gov/gistemp/>
- [2] Liste des espèces d'arbres rencontrés sur l'ensemble du territoire français. Available at: http://agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/AAER-Cahier_thematique_Biomasse-Energie-climat_Tome_2_Energiedes_bois_decembre-2011.pdf
- [3] The Carbon Sink of an Old-Growth Forest in China. CO₂ Science, 13 April 2011, v. 14, no. 15. Available at: <http://www.co2science.org/articles/V14/N15/EDIT.php>
- [4] Sent to LSU Agcenter / Louisiana Forest Products Development Center – Forest Sector. Forestry Products Interest Group. Available at: <http://www.lfpdc.lsu.edu/publications/bits/2016/20160428-Timber-Wooden-skyscraper-proposed-for-central-London.pdf>
- [5] Senate, House Introduce Timber Innovation Act. Available at: <http://www.awc.org/news/2017/03/07/senate-house-introduce-timber-innovation-act>
- [6] Le Carbone. Carbone Forêt-Bois : Des faits et des chiffres. Available at: http://www.fnbois.com/sites/default/files/mediatheque/Vademecum_Carbone-Foret-Bois_2012.pdf
- [7] Développer la construction bois en France pour améliorer l'indépendance énergétique, réduire les émissions de gaz à effet de serre et développer l'emploi. Available at: http://www.codifab.fr/sites/default/files/etude_carbone_4_note_de_communication_filiere_bois_vf_mai_2015.pdf
- [8] Murphy D.J., Hall C.A.S. «Year in review EROI or energy return on (energy) invested». Annals of the New York Academy of Sciences 1185, 2010, pp. 102–118.
- [9] Precious Forests — Precious Earth. Edited by Miodrag Zlatic. Available at: <http://www.intechopen.com/books/precious-forests-precious>

Author's information

Xavier Deglise — Professor Emeritus Université de Lorraine, LERMaB, Xavier.deglise@univ-lorraine.fr

Received 17.07.2017

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА УБОРКИ ЗАХЛАМЛЕННОСТИ ЛЕСА ПОРТАТИВНОЙ ЛЕБЕДКОЙ

С.П. Карпачев, Р.И. Диев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

karpachevs@mail.ru

Рассматривается технология уборки захламленности леса от естественного отпада с использованием портативной лебедки. Приводится математическая модель технологического процесса. Результаты имитационных экспериментов с моделью позволяют сделать следующие выводы: 1) число стрелеванных пачек в смену с увеличением длины тягового каната лебедки уменьшается по степенному закону. Это объясняется тем, что объем пачки, а значит, и время ее набора увеличивается с увеличением длины каната лебедки; 2) при определенной длине тягового каната производительность лебедки достигает максимальных значений. Например, при объеме отпада 20 м³/га максимальная производительность системы будет достигаться при длине каната 30 м.

Ключевые слова: захламленность леса, естественный отпад, имитационное моделирование

Ссылка для цитирования: Карпачев С.П., Диев Р.И. Моделирование технологического процесса уборки захламленности леса портативной лебедкой // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 10–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-10-14

Естественный отпад древесины приводит к захламленности леса (рис. 1). Если объем такой древесины превышает 20 м³/га, назначаются санитарные мероприятия по уборке захламленности леса [1]. Однако существующие технологии очистки леса от захламленности малоэффективные, затратные и основаны на использовании ручного труда.

В настоящей статье рассматривается технологическая схема уборки захламленности леса, основанная на применении бензомоторных пил и портативной лебедки со специальными трелевочными конусами. Эта технология позволяет минимизировать ручной труд и значительно уменьшить воздействие на окружающую среду.

В предлагаемой технологии древесина отпада трелюется лебедкой в пачки (рис. 2), которые затем могут быть переработаны в полезную про-

дукцию, например в топливную щепу или дрова [2–4]. Эффективность предлагаемой технологии решено было исследовать на математических моделях [5–12].



Рис. 1. Естественный отпад леса в виде валежа (Тверская область, фото автора)

Fig. 1. Natural decay of the forest in the form of valleys (Tver Region, photo of the author)

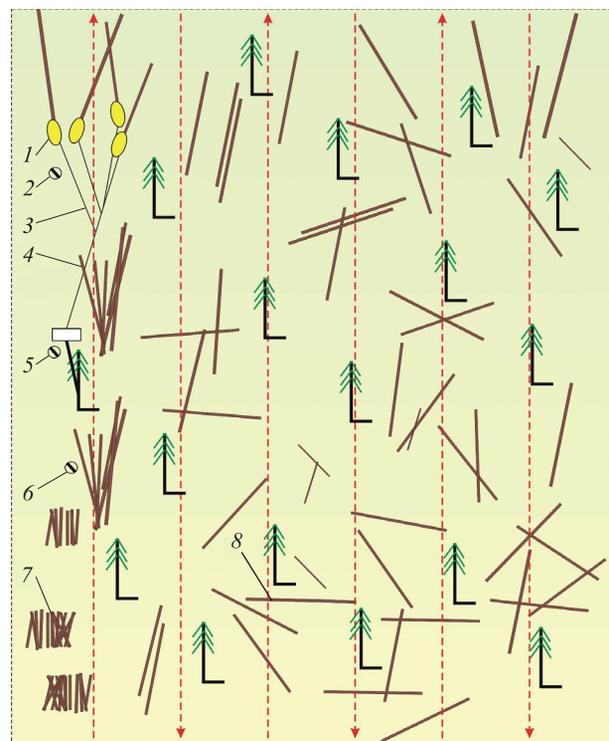


Рис. 2. Уборка захламленности леса: 1 — конусы; 2 — вальщик; 3 — тяговый канат; 4 — пачки стрелеванных деревьев отпада; 5 — лебедка; 6 — вальщик-раскряжевщик; 7 — поленицы из раскряжеванных деревьев отпада

Fig. 2. Cleaning of the litter of the forest: 1 — cones; 2 — the feller; 3 — traction rope; 4 — packs of skidded trees; 5 — a winch; 6 — loader—bucking; 7 — piles of broken bucked trees

Сменную производительность работы нескольких вальщиков можно представить как сумму объемов деревьев, подготовленных к трелевке за смену.

Продолжительность циклов и производительность вальщиков за смену в модели определим как сумму всех циклов и объем всех подготовленных деревьев:

$$\forall \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N t_{ji} = T\eta; \tag{1}$$

$$\Pi = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^N q_{ji},$$

где n — число вальщиков;
 N — число полных циклов работы одного вальщика за смену;
 t_{ji} — время i -го цикла работы j -го вальщика, с;
 T — продолжительность смены, с;
 η — коэффициент использования бензопилы
 q_{ji} — объем j -го дерева во время i -го цикла работы, м³.

Продолжительность цикла в расчете на одно дерево определяется по формуле

$$T_{ц} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4. \tag{2}$$

Здесь t_1 — время на пиление сучьев и движение вальщика от комля к вершине, с;
 t_2 — время на поворот ствола, с;
 t_3 — время на обрезку опорных сучьев при движении в обратном направлении, с;
 t_4 — время на переход вальщика между деревьями, с,

$$t_4 = \frac{l_{дер}}{v_{вал}} = 100 \sqrt{\frac{q_{хл}}{q}} v_{вал}^{-1}, \tag{3}$$

где $l_{дер}$ — среднее расстояние между деревьями, м;
 $v_{вал}$ — скорость вальщика при его движении с бензопилой по лесу, м/с;
 $q_{хл}$ — средний объем дерева отпада, м³;
 q — объем отпада на 1 га, м³/га;
 $v_{вал}$ — скорость движения вальщика, $v_{вал} = 0,5 \dots 0,8$ м/с.

Сменную производительность работы лебедки можно представить как сумму объемов стрелованных за смену групп деревьев. Объем группы деревьев определяется предельным одновременно трелеваемым объемом. В предельном случае трелеваемая группа может состоять из одного дерева. Объем пачки деревьев определяется как сумма групп деревьев, стрелованных с одной стоянки лебедки. Этот объем определяется охватываемой лебедкой площадью, которая зависит от длины тягового каната

$$Q_{пач} = q \frac{\pi l_{кан}^2}{20\,000}, \tag{4}$$

где q — объем отпада на 1 га, м³/га;
 $l_{кан}$ — длина тягового каната лебедки, м.

Продолжительность циклов и производительность лебедки за смену в модели определим как сумму всех циклов и объем всех стрелованных пачек деревьев:

$$\forall \sum_{i=1}^N t_i = T\eta; \tag{5}$$

$$\Pi = \sum_{i=1}^N Q_{пач.i}, \tag{6}$$

где N — число полных циклов работы лебедки за смену;
 t_i — время i -го цикла работы лебедки, с;
 T — продолжительность смены, с;
 η — коэффициент использования лебедки;
 $Q_{пач.i}$ — объем пачки деревьев во время i -го цикла работы лебедки, м³;

Продолжительность i -го цикла трелевки одной группы деревьев

$$t_{ц.групп.i} = (t_1 + t_2 + t_3 + t_4)_i. \tag{7}$$

Здесь t_1, t_2 — время движения троса соответственно в холостом и грузовом направлениях, мин.

$$t_1 + t_2 = \frac{l_{ср}}{V_x} + \frac{l_{ср}}{V_r}, \tag{8}$$

где $l_{ср}$ — среднее расстояния трелевки, м;
 V_x, V_r — скорость движения грузового троса лебедки соответственно без груза и с грузом, 0,2 м/с;
 t_3 — время набора и формирования группы деревьев для трелевки, с;
 t_4 — время на разгрузку группы деревьев после трелевки, с.

С одной стоянки лебедка трелюет $M_{групп}$ групп деревьев объемом $Q_{групп}$ каждая. Эти группы формируют пачку объемом $Q_{пач}$

$$M_{групп} = \frac{Q_{пач}}{Q_{групп}}, \tag{9}$$

Продолжительность цикла работы лебедки по формированию j -й пачки

$$T_{ц.пач.j} = \left(\sum_{i=1}^{M_{групп}} T_{ц.групп.i} \right)_j + t_{п.б.j}, \tag{10}$$

где $t_{п.б.j}$ — время на перебазировку лебедки после формирования j -й пачки, с.

На основе формул (1–10) были разработаны имитационная модель и компьютерная программа технологического процесса, составлен план экспериментов. Одной из задач имитационных экспериментов было установление влияния дли-

ны тягового каната лебедки (а значит, и охватываемой площади) на показатели эффективности технологии. Некоторые результаты экспериментов представлены в виде графиков на рис. 3 и 4.

Результаты экспериментов показали, что число стрелеванных пачек в смену резко уменьшается (по степенному закону) с увеличением длины тягового каната лебедки (см. рис. 3). Это объясняется тем, что объем пачки, а значит, и время ее набора увеличивается с увеличением длины каната лебедки.

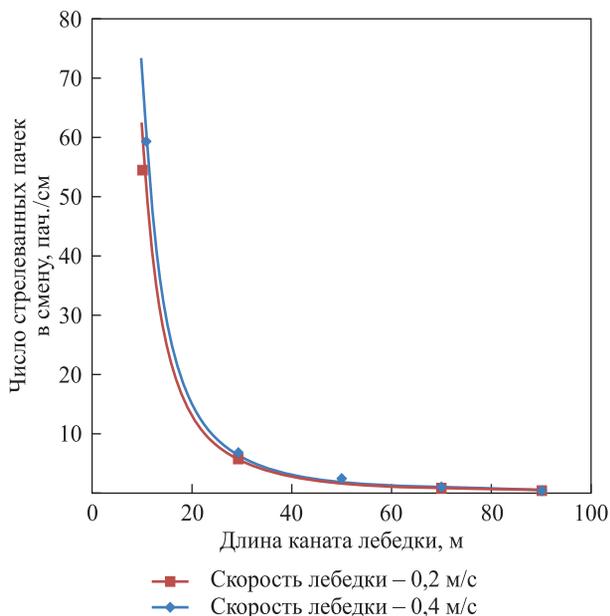


Рис. 3. Зависимость числа стрелеванных пачек в смену от длины тягового каната лебедки (1 вальщик, 1 лебедка, объем отпада = 20 м³/га)

Fig. 3. Dependence of the number of skidded packs per shift on the length of the winch rope (1 feller, 1 winch, decay volume = 20 м³/ha)

Зависимость объема стрелеванной древесины в смену от длины тягового каната лебедки (см. рис. 4) показывает, что при определенной длине тягового каната лебедки технологический процесс достигает максимальной производительности. Для случая пограничного объема отпада (20 м³/га) максимальная производительность системы будет достигаться при длине каната, равной 30 м.

Итоги имитационных экспериментов с моделями технологических уборки захламленности леса от естественного отпада с использованием портативной лебедки:

1. Предложена технологическая схема уборки захламленности леса, основанная на применении бензомоторных пил и портативной лебедки, которая позволяет минимизировать ручной труд и воздействие на окружающую среду.

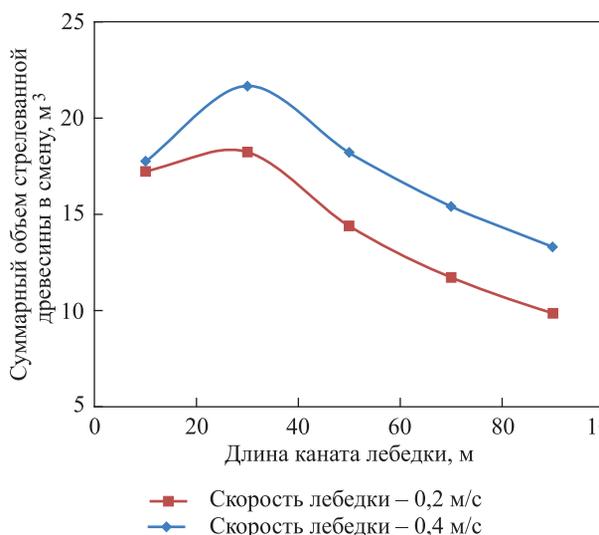


Рис. 4. Зависимость объема стрелеванной древесины в смену от длины тягового каната лебедки (1 вальщик, 1 лебедка, объем отпада = 20 м³/га)

Fig. 4. Dependence of the volume of skidded wood per shift on the length of the pulling rope of the winch (1 feller, 1 winch, volume of fall = 20 м³/ha)

2. Разработана математическая модель технологии уборки захламленности леса с использованием портативной лебедки.

3. Выявлены следующие зависимости:

— число стрелеванных пачек в смену с увеличением длины тягового каната лебедки уменьшается по степенному закону;

— при определенной длине тягового каната производительность лебедки достигает максимальных значений (например, при объеме отпада 20 м³/га максимальная производительность системы будет достигаться при длине каната, равной 30 м.

Список литературы

- [1] Руководство по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий. Приложение 2 к Приказу Рослесхоза от 29.12.2007 № 523. 32 с.
- [2] Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Комяков А.Н. Некоторые вопросы освоения биоресурсов из леса для нужд биоэнергетики // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2010. № 4 (73). С. 107–111.
- [3] Карпачев С.П., Щербаков Е.Н., Приоров Г.Е. Проблемы развития биоэнергетики на основе древесного сырья в России // Лесопромышленник, 2009. № 1 (49).
- [4] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method // Croatian Journal of Forest Engineering, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45.
- [5] Шадрин А.А. Повышение гибкости технологий лесозаготовительных предприятий // Наука, образование, инновации в приграничном регионе: Матер. 2-й Респ. Науч.-практ. конф. Петрозаводский гос. ун-т, 2015. С. 31–32.

- [6] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование доставки круглых лесоматериалов потребителям автопоездами // Экологические системы и приборы, 2016. № 2. С. 18–22.
- [7] Карпачев С.П. Логистика. Моделирование технологических процессов береговых складов. М.: МГУЛ, 2005. 132 с.
- [8] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование раскряжевки хлыстов сучкорезно-раскряжевой установкой и штабелевкой сортиментов погрузчиками разного типа // Транспорт: наука, техника, управление, 2016. № 3. С. 58–61.
- [9] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование разгрузки пачек хлыстов и укладки их в плот сплотно-транспортно-штабелевочными агрегатами // Транспорт: наука, техника, управление, 2016. № 1. С. 57–59.
- [10] Карпачев С.П., Лозовецкий В.В., Щербаков Е.Н. Моделирование логистических систем лесных материалов // Транспорт: наука, техника, управление, 2011. № 8. С. 16–20.
- [11] Моделирование технологических процессов освоения биоресурсов леса с использованием мягких контейнеров на лесосеке / С.П. Карпачев, В.И. Шмырев, Д.В. Шмырев, А.А. Камусин, А.К. Редькин // Техника и оборудование для села, 2017. № 2 (236). С. 45–48.
- [12] Карпачев С.П., Диев Р.И. Разработка технологии уборки древесины естественного отпада для нужд биоэнергетики.

Сведения об авторе

Карпачев Сергей Петрович — д-р техн. наук, профессор, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), karpachev@mgul.ac.ru

Диев Роман Иванович — старший преподаватель, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rdiev@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.05.2017 г.

MODELING OF TECHNOLOGICAL PROCESSES OF LITTER HARVESTING IN THE FOREST WITH A PORTABLE WINCH

S.P. Karpachev, R.I. Diev

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

karpachev@mgul.ac.ru

The article presents the way of litterharvesting from the loss of a growing forest with the help of a portable winch. The mathematical model of the process is presented. The results of simulation experiments with the model of technological process allow to make the following conclusions: 1) the number of wood packs per shift with increasing length of the traction rope of the winch decreases according to the power law. This is because the volume of the pack, and thus the time spent on its filling increases with the length of the hoist rope; 2) at a specific length of a traction rope the performance of winches reaches maximum values. For example, in the case of natural forest loss equalling 20 m³/ha, the maximum system capacity will be reached with a 30-meter length of rope.

Keywords: forest litter, natural forest loss, simulation modeling

Suggested citation: Karpachev S.P., Diev R.I. *Modelirovanie tekhnologicheskogo protsesssa uborki zakhlamlenosti lesa portativnoy lebedkoy* [Modeling of technological processes of cleaning litter the forest with portable winch]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 10–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-10-14

References

- [1] *Rukovodstvo po provedeniyu sanitarno-ozdorovitel'nykh meropriyatiy. Prilozhenie 2 k prikazu Rosleskhoza ot 29.12.2007* [Guide to sanitation. Appendix 2 to the Order of the Federal Forestry Agency of December 29, 2007], no. 523, 32 p.
- [2] Karpachev S.P., Shcherbakov E.N., Komyakov A.N. *Nekotorye voprosy osvoeniya bioresursov iz lesa dlya nuzhd bioenergetiki* [Some questions of development of forest bioresources for needs of bioenergetics] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 4 (73), pp. 107–111.
- [3] Karpachev S.P., Shcherbakov E.N., Priorov G.E. *Problemy razvitiya bioenergetiki na osnove drevesnogo syr'ya v Rossii* [Problems of bioenergy based on wood raw materials in Russia] *Lesopromyshlennik*, 2009, no. 1 (49), pp. 31–32.
- [4] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method. *Croatian journal of forest engineering*, v. 38, 2017, no. 1, pp. 33–45.
- [5] Shadrin A.A. *Povyshenie gibkosti tekhnologiy lesozagotovitel'nykh predpriyatiy* [Improving the flexibility of the technology by logging companies] *Nauka, obrazovanie, innovatsii v prigranichnom regione. Materialy 2 respublikanskoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet* [Science, education, innovation in the border region. Proceedings of the 2nd Republican scientific-practical conference. Petrozavodsk state University], 2015, pp. 31–32.
- [6] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie dostavki kruglykh lesomaterialov potrebitelyam avtopoezdami* [Simulation of delivery roundwood customers autotrains]. *Environmental systems and devices*, 2016, no. 2, pp. 18–22.
- [7] Karpachev S.P. *Logistika. Modelirovanie tekhnologicheskikh processov beregovykh skladov* [Modelling of processes of coastal warehouses]. Moscow: MSFU, 2005, 132 p.
- [8] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie raskryazhevki khlystov suchkorezno-raskryazhevochnoy ustanovkoy i shtabelevkoy sortimentov pogruchnikami raznogo tipa* [Simulation of bucking and piling of assortments of various types]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2016, no. 3, pp. 58–61.
- [9] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie razgruzki pachek khlystov i ukladki ikh v plot splotochno-transportno-shtabelevochnymi agregatami* [Simulation of the unloading of bundles of whips and stacking them in the raft by units]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2016, no. 1, pp. 57–59.
- [10] Karpachev S.P., Lozovatsky V.V., Scherbakov E.N. *Modelirovanie logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Modeling the log-socialist systems of forest material flow] *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie*, 2011, no. 8, pp. 16–20.
- [11] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V., Kamusin A.A., Red'kin A.K. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov osvoeniya bioresursov lesa s ispol'zovaniem myagkikh konteynerov na lesoseke* [Modeling of technological processes of development of forest bioresources for bioenergy with the use of soft containers] *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and equipment for rural area], 2017, no. 2 (236), pp. 45–48.
- [12] Karpachev S.P., R.I. Diev. *Razrabotka tekhnologii uborki drevesiny estestvennogo otpada dlya nuzhd bioenergetiki* [Development of technology of cleaning of the litter of the forest with wood, natural mortality for needs of bioenergetics] *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* [Machinery and equipment for rural area], 2017, no. 3 (237), pp. 41–43.

Author's information

Karpachev Sergey Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, BMSTU (Mytishchi branch), karpachev@mgul.ac.ru

Diev Roman Ivanovich — Senior Lecturer, BMSTU (Mytishchi branch), rdiev@yandex.ru

Received 10.05.2017

ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ЛЕСНЫХ ПЛАНТАЦИЙ НА ДАЛЬНЕМ ВОСТОКЕ РОССИИ

А.Ю. Алексеевко, Е.А. Никитенко

ФБУ Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, 680020, Россия, г. Хабаровск, ул. Волочаевская, д. 71

alexeeenko.alex@gmail.com

На мировых и российских лесных рынках отмечается общая тенденция к росту потребности в древесных плитах, для производства которых не требуется высококачественных хвойных лесоматериалов. Открываются возможности глубокой переработки низкокачественной древесины, лиственных пород, а также мелкотоварной древесины, выращенной на лесных плантациях. Создание лесных плантаций на Дальнем Востоке России будет способствовать интенсивному развитию лесного сектора при реализации приоритетных инвестиционных проектов, связанных с глубокой переработкой древесины. При этом потенциальные инвесторы могут сразу столкнуться с проблемами подбора лесных участков. Для плантаций не подходят горные склоны крутизной более 10° , а также заболоченные земли. Необходимо начать селекционную работу с местными быстрорастущими породами. Среди хвойных пород наиболее перспективными являются сосна и лиственница. Лиственница малотребовательна к климатическим и почвенным условиям, переносит переувлажнение и отличается быстрым ростом в первой половине жизни, когда годовой прирост насаждений по запасу достигает $6...10 \text{ м}^3/\text{га}$. Лесные культуры сосны при своевременном проведении рубок ухода имеют прирост до $20 \text{ м}^3/\text{га}$. На глубоких почвах сосна хорошо переносит засуху и выдерживает продолжительное затопление, поэтому перспективно создание ее плантаций в поймах крупных рек — Амура и Усури. Среди лиственных пород наиболее перспективны тополь и осина. Большим их преимуществом является вегетативное размножение. В Воронежской области на опытных плантациях евро-американские гибриды тополей в 25-летнем возрасте накапливают запас древесины около $1000 \text{ м}^3/\text{га}$. В Хабаровском крае начаты опыты по адаптации 16 сортов тополя селекции ВНИИЛП ИСБиотех. Первый год выращивания показал возможность их посадки черенками и устойчивость к зимним условиям Дальнего Востока.

Ключевые слова: лесные плантации, лиственница, сосна, тополь, годичный прирост

Ссылка для цитирования: Алексеевко А.Ю., Никитенко Е.А. Перспективы создания лесных плантаций на Дальнем Востоке России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 15–18.
DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-15-18

Экстенсивная система освоения лесов Дальнего Востока вынуждает лесозаготовительные предприятия проводить заготовку древесины все дальше на севере, в горных труднодоступных районах, увеличивая расстояние вывозки. При этом лесозаготовители сталкиваются с рядом серьезных проблем, связанных со снижением качества древесины, дефицитом доступного лесного фонда, экологическими требованиями при освоении горных лесов и малонарушенных лесных территорий.

На мировых и российских лесных рынках отмечается общая тенденция к росту потребности в древесных плитах, для производства которых не требуется высококачественных хвойных лесоматериалов [1, 2]. Открываются возможности глубокой переработки низкокачественных лесоматериалов, лиственных пород, а также мелкотоварной древесины, выращенной на лесных плантациях.

Российское лесное законодательство предусматривает использование лесов для создания лесных плантаций, однако совершенно не проработаны детали их создания и эксплуатации в связи с отсутствием отечественного опыта.

Придание Дальнему Востоку статуса территории опережающего социально-экономического развития в Российской Федерации дает уникаль-

ные возможности для развития лесных плантаций в регионе, чему способствуют благоприятные климатические условия юга региона и наличие местных быстрорастущих древесных пород. Для успешной работы заводов по производству ориентированно-стружечных плит (ОСП), древесно-стружечных плит (ДСП) или древесно-волоконистых плит (ДВП), безусловно, потребуются плантации для бесперебойного обеспечения их сырьем. Данное направление отражено в разрабатываемых приоритетных инвестиционных проектах, связанных с глубокой переработкой древесины. При этом потенциальные инвесторы могут сразу столкнуться с проблемами подбора лесных участков под плантации. Для их создания подходят далеко не любые участки лесного фонда. Высокой эффективности невозможно добиться на горных склонах крутизной более 10° , особенно с мелкими каменистыми почвами, а также на нелесных заболоченных землях, относящихся к категориям болот, марей или сырых лугов. Открытым остается вопрос о возможности вырубки и употреблении деревьев, естественно произрастающих на лесных участках, передаваемых под плантации. Для инвесторов представляет интерес использование для лесных плантаций земель госземзапаса,

поселений, сельскохозяйственных земель и других категорий, не относящихся к лесному фонду, однако Земельный кодекс рассматривает это направление как нецелевое использование земель.

Более чем полувековой опыт искусственного лесовосстановления на Дальнем Востоке дает основания оптимистично смотреть на перспективы плантационного лесоразведения. Отработаны основные технологии подготовки почвы и посадки лесных культур, есть опыт успешной гидромелиорации заболоченных лесных земель и противопожарного устройства территории [3]. Наблюдения за ростом и развитием лесных культур позволяют выбрать быстрорастущие древесные породы и прогнозировать выход товарной продукции с лесных плантаций.

Перспективными древесными породами для создания дальневосточных лесных плантаций можно считать: среди хвойных пород — лиственницу и сосну обыкновенную, среди лиственных — тополь и осину. На юге региона можно использовать ель и пихту цельнолистную.

Лиственница — самая распространенная древесная порода на Дальнем Востоке. Она малотребовательна к климатическим и почвенным условиям, переносит переувлажнение. Лиственница отличается быстрым ростом в первой половине жизни, когда годовой прирост насаждений по запасу достигает 6...10 м³/га. Эта древесная порода весьма устойчива к лесным пожарам, а загущенные посадки лиственницы могут использоваться в качестве барьеров при противопожарном устройстве территории. На Дальнем Востоке освоено производство посадочного материала лиственницы как с открытой, так и с закрытой корневой системой, поэтому данную породу в ближайшее

время можно рассматривать как наиболее перспективную для плантационного выращивания [4–7].

Сосна обыкновенная в естественных условиях произрастает в Амурской области, центральных и северных частях Хабаровского края. На юге региона лесные культуры сосны создавались до 1980-х г. из семян сибирского происхождения. На глубоких почвах искусственные насаждения сосны показывают хорошие результаты по росту [7]. При своевременном проведении рубок ухода среднегодовой прирост достигает 20 м³/га. Обладая стержневой корневой системой, сосна обыкновенная на глубоких почвах хорошо переносит засуху, и выдерживает продолжительное затопление, поэтому весьма перспективно создание сосновых плантаций в поймах крупных рек — Амура и Усури.

Дальневосточные тополя — душистый, Максимовича и корейский — на хорошо дренированных глубоких почвах отличаются быстрым ростом и могут достигать гигантских размеров — до 3 м в диаметре [8]. Большим их преимуществом является способность размножаться черенками. На горных склонах, суходолах, слабодренированных участках энергия роста у тополей снижается, поэтому преимущество следует отдавать осине как менее прихотливой древесной породе. На первых этапах становления плантационного хозяйства осину можно использовать для формирования порослевых плантаций благодаря ее высокой корнеотпрысковой способности.

Селекционная работа по созданию сортов быстрорастущих древесных пород на Дальнем Востоке не велась. Такой опыт имеется у Всероссийского НИИ лесной селекции, генетики и биотехнологии (ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех») для европейских

Т а б л и ц а

Характеристика роста и приживаемости черенков тополя в конце первого сезона выращивания в питомнике Хабспецхоза

Characteristics of growth and rooting of poplar cuttings at the end of the first growing season in the Habspetschoz nursery

Показатели	Название сортов и гибридов тополя					
	Волосисто-плодный	Китайский	Мариляндика	Сакрау-59	Регенерата (№90)	Брабантика-175 (№ 55)
Количество высаженных черенков, шт.	31	27	24	33	8	11
Количество сохранившихся черенков (октябрь 2016 г.), шт.	7	19	17	24	2	2
Сохранность, %	22,6	70,4	70,8	72,7	25,0	18,2
Средняя высота, см	23,7	18,5	28,9	30,9	27,5	21,0
Стандартная ошибка, см	2,79	1,31	2,77	2,39	3,50	2,00
Стандартное отклонение, см	7,39	5,72	11,44	11,69	4,95	2,83
Дисперсия выборки	54,57	32,71	130,93	136,64	24,50	8,00
Наибольшая высота, см	34	32	48	55	31	23
Наименьшая высота, см	15	9	5	9	24	19
Уровень надежности (95,0 %)	6,83	2,76	5,88	4,94	44,47	25,41

О к о н ч а н и е т а б л .

Показатели	Название сортов и гибридов тополя									
	Ведуга	Болид	Борей	Версия	Стройн	Гелий	Пионер	Иванте-евский	ПОК	Э.С.-38
Количество высаженных черенков, шт.	49	3	18	80	44	25	53	45	34	20
Количество сохранившихся черенков (октябрь 2016 г.), шт.	24	0	8	53	35	4	45	3	26	10
Сохранность, %	49,0	0,0	44,4	66,3	79,5	16,0	84,9	6,7	76,5	50,0
Средняя высота, см	17,7	–	21,1	33,4	28,1	16,3	31,5	14,7	28,2	26,8
Стандартная ошибка, см	1,53	–	3,03	1,60	1,75	1,93	1,54	2,03	1,81	2,36
Стандартное отклонение, см	7,48	–	8,58	11,64	10,33	3,86	10,33	3,51	9,22	7,45
Дисперсия выборки	55,97	–	73,55	135,52	106,77	14,92	106,66	12,33	85,02	55,51
Наибольшая высота, см	36	–	37	65	52	20	58	18	43	37
Наименьшая высота, см	7	–	6	13	10	11	11	11	5	14
Уровень надежности (95,0 %)	3,16	–	7,17	3,21	3,55	6,15	3,10	8,72	3,72	5,33

древесных пород. Однако первые шаги в этом направлении были сделаны при попытке акклиматизации 16 сортов тополя селекции ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех» в условиях Хабаровского края. Сотрудниками Дальневосточного НИИ лесного хозяйства (ФБУ «ДальНИИЛХ») в 2016 г. было высажено 505 черенков тополя в питомнике Хабспецхоза для укоренения и последующего создания маточной плантации (таблица). В среднем приживаемость составила 50 %. Сортовые тополя успешно перенесли зиму в условиях юга Хабаровского края. Запланирована их пересадка на маточную плантацию.

По опубликованным данным [9, 10], в Воронежской области опытные плантации тополей в 25-летнем возрасте накапливают запас сырой древесины от 200 до 1000 м³/га, в том числе плантации тополя сорта «Пионер» имеют запас 410 м³/га, «Мариландика» — 624 м³/га, «Регенерата» — 1155 м³/га. Лучшие результаты показывают евро-американские гибриды.

Создание лесных плантаций на Дальнем Востоке даст толчок всему лесному сектору для перехода к интенсивному инновационному развитию, так как здесь требуется реальная интеграция науки и практики, использование новейших технологий выращивания и переработки древесины, применение передовых достижений генетики и селекции. В результате должна снизиться промышленная нагрузка на естественные леса труднодоступных горных территорий, выполняющие разнообразные защитные функции.

Сведения об авторе

Алексеевко Александр Юрьевич — канд. с.-х. наук, заместитель директора ФБУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», alexeevko.alex@gmail.com

Никитенко Елена Алексеевна — канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник ФБУ «Дальневосточный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», dea1808@mail.ru

Список литературы

- [1] Писаренко А.И. Всемирные лесохозяйственные конгрессы: от предистории ФАО до современных проблем лесного хозяйства. Памятные научные записки. М., 2016. 408 с.
- [2] Morton A., Applegate G. Global market impacts on Asia-Pacific forests in 2020 // The Future of forests in Asia and the Pacific: outlook for 2020; 16–18 October 2007, Chiang Mai, Thailand. Bangkok: FAO Regional office for Asia and the Pacific, 2009. pp. 273–291.
- [3] Руководство по проведению лесовосстановительных работ на Дальнем Востоке / сост. И.И. Перевергаило. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2003. 142 с.
- [4] Труш В.И. Строение, рост и перспективы выращивания искусственных лиственничников Хабаровского края: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск, 1993. 19 с.
- [5] Труш В.И. Ходроста лиственницы Каяндера в культурах // Лесное хозяйство, 1997. № 1. С. 43–44.
- [6] Выводцев Н.В., Выводцева З.А., Лысун Е.Ю. Производительность и качественное состояние лиственничников искусственного происхождения // Научные основы лесохозяйственного производства Дальнего Востока: Тр. ДальНИИЛХ. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1991. Вып. 33. С. 36–46.
- [7] Сборник таблиц хода роста и прироста насаждений основных лесобразующих пород Дальнего Востока / сост. В.Н. Корякин, Н.В. Романова. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2015. 229 с.
- [8] Цымек А.А. Лиственные породы Дальнего Востока, пути их использования и воспроизводства. Хабаровск: Хабаровское книжное издательство, 1956. 327 с.
- [9] Русин Н.С., Русина Л.М., Горевалова С.Ю. Клоны рода *Populus L.* для создания плантационных насаждений целевого значения // Генетика и селекция лесных древесных растений: Сб. статей. Воронеж: Артефакт, 2008. С. 116–124.
- [10] Царев А.П., Царева П.Р., Царев В.А. Динамика сохранности и продуктивности настоящих тополей при испытании в условиях умеренного климата // Вестник ВОГиС, 2010. Т. 14. № 2. С. 255–264.

Статья поступила в редакцию 23.06.2017 г.

THE PROSPECTS OF FOREST PLANTATION CREATION IN RUSSIAN FAR EAST

A. Yu. Alekseenko, E. A. Nikitenko

Far East Forestry Research Institute, 680020, Russian Federation, Khabarovsk city, Volochaevskaya street, 71

alexeenko.alex@gmail.com

The general trend of wood-based panels growing demand in the world and Russian domestic markets, which don't need the high quality coniferous timber for production. The new opportunities open up for deep processing of low-quality wood, deciduous trees, small timbre from forest plantations. The creation of forest plantations in the Russian Far East will facilitate the intensive development of the forest sector in the implementation of priority investment projects related to the deep processing of timber. At the same time, potential investors can immediately face problems in selecting forest plots. Mountain slopes with a steepness of more than 10° and wetlands are not suitable for plantations. It is necessary to begin selection work with local species of quick-growing trees. Pine and larch are promising among coniferous species. Larch is not very demanding for climatic and soil conditions, it tolerates overmoistening and is characterized by rapid growth in the first half of life, when the annual increment of plantations reaches 6–10 m³/ha. Pine plantation with timely carrying out of thinning cuttings has an increase up to 20 m³/ha. On deep soils, the pine is well tolerated by droughts, and withstands a prolonged flooding, so its plantations are promising in floodplains of large rivers — the Amur and Ussuri. Poplar and aspen are promising among deciduous species. Their great advantage is vegetative reproduction. In Voronezh region, on experimental plantations, Euro-American hybrids of poplars accumulate a stock of about 1000 m³/ha at 25 years of age. The experiments of adaptation of 16 poplar varieties, selected in ARRIFGB started in Khabarovsk region. The first year of their cultivation showed the possibility of their planting by cuttings and resistance to the winter conditions of the Far East.

Keywords: forest plantation, larch, pine, poplar, selection, annual increment

Suggested citation: Alekseenko A. Yu., Nikitenko E. A. *Perspektivy sozdaniya lesnykh plantatsiy na Dal'nem Vostoke Rossii* [The prospects of forest plantation creation in Russian Far East]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 15–18. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-15-18

References

- [1] Pisarenko A.I. *Vsemirnye lesokhozyaystvennye kongressy: ot predystorii FAO do sovremennykh problem lesnogo khozyaystva. Pamyatnye nauchnye zapiski* [World forestry congresses: from the prehistory of FAO to modern forestry issues. Memorable scientific notes]. Moscow, 2016, 408 p.
- [2] Morton A., Applegate G. Global market impacts on Asia-Pacific forests in 2020. The Future of forests in Asia and the Pacific: outlook for 2020, 16–18 October 2007, Chiang Mai, Thailand. Bangkok: FAO Regional office for Asia and the Pacific. 2009. pp. 273–291.
- [3] Perevertaylo I.I. *Rukovodstvo po provedeniyu lesovosstanovitel'nykh работ na Dal'nem Vostoke* [Guidelines for reforestation in the Far East]. Khabarovsk: DalNIIHL, 2003, 142 p.
- [4] Trush V.I. *Stroenie, rost i perspektivy vyrashchivaniya iskusstvennykh listvennichnikov Khabarovskogo kraya* [The structure, growth and prospects of growing artificial larch forests in the Khabarovsk Territory: Abstract of the thesis Candidate of Agricultural Sciences: 06.03.02.]. Krasnoyarsk, 1993, 19 p.
- [5] Trush V.I. *Khod rosta listvennitsy Kayandera v kul'turakh* [The course of larch growth of Kayander in plantation]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1997, no. 1, pp. 43–44.
- [6] Vyvodtsev N.V., Vyvodtseva Z.A., Lysun E.Yu. *Proizvoditel'nost' i kachestvennoe sostoyanie listvennichnikov iskusstvennogo proiskhozhdeniya* [Productivity and quality of larch forests of artificial origin]. *Nauchnye osnovy lesokhozyaystvennogo proizvodstva Dal'nego Vostoka: Tr. Dal'NIILKh.* [Scientific foundations of forestry production in the Far East: Dal'NIILH scientific works]. Khabarovsk: Dal'NIILH, 1999, v. 33, pp. 36–46.
- [7] Koryakin V.N., Romanova N.V. *Sbornik tablits khoda rosta i prirosta nasazhdeniy osnovnykh lesoobrazuyushchikh porod Dal'nego Vostoka* [Collection of tables on the course of growth and growth of forest stands of the main forest-forming species of the Far East]. Khabarovsk: Dal'NIILH, 2015, 229 p.
- [8] Tsymek A.A. *Listvennye porody Dal'nego Vostoka, puti ikh ispol'zovaniya i vosproizvodstva* [Hardwoods of the Far East, ways of their use and reproduction]. Khabarovsk: Khabarovsk book publishing house, 1956, 327 p.
- [9] Rusin N.S., Rusina L.M., Gorevalova S.Yu. *Klony roda Populus L. dlya sozdaniya plantatsionnykh nasazhdeniy tselevogo znacheniya* [Clones of the genus Populus L. for the creation of plantation plantings of the target value] *Genetika i selektsiya lesnykh drevesnykh rasteniy* [Genetics and selection of forest tree plants]. Voronezh: Artefakt, 2008, pp. 116–124.
- [10] Tsarev A.P., Tsareva P.R., Tsarev V.A. *Dinamika sokhrannosti i produktivnosti nastoyashchikh topoley pri ispytanii v usloviyakh umerennogo klimata* [Dynamics of preservation and productivity of real poplars during testing in temperate climate conditions]. *Vestnik VOGiS* [VOGiS Herald], 2010, v.14, no. 2, pp. 255–264.

Author's information

Alekseenko Aleksandr Yur'evich — Cand. Sci. (Agricultural), Deputy Director of Far East Forestry Research Institute, alexeenko.alex@gmail.com

Nikitenko Elena Alekseevna — Cand. Sci. (Agricultural), Leading Researcher of Far East Forestry Research Institute, dea1808@mail.ru

Received 23.06.2017

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ УНИЧТОЖЕНИЯ НЕЖЕЛАТЕЛЬНОЙ ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ ХИМИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

А.А. Котов, А.Ф. Алябьев

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

kotov@mgul.ac.ru

При контактном нанесении арборицида на нежелательные древесные растения они отклоняются рабочим органом машины, а после ее прохода совершают затухающие колебания, при которых возможно сбрасывание частиц препарата с растений под действием силы инерции. Целью работы является теоретическое и экспериментальное обоснование кинематических параметров колебаний стволиков древесной растительности при химическом уходе контактными способами, позволяющих исключить потери рабочей жидкости, нанесенной на растения, а также определение размеров частиц препарата, способных удержаться на растении при различных значениях ускорения. Рассмотрены силы, действующие на частицу, нанесенной на растение рабочей жидкости для двух вариантов расположения частицы на растении. Получены аналитические выражения размера частицы, способной удержаться на растении, и ускорения вершины растения. Для расчета ускорения необходимо экспериментальное определение начального отклонения вершины стволика, частоты колебаний и логарифмического декремента колебания. С помощью видеозаписи выполнены опыты по определению этих параметров для березы и осины. Затем для определения влияния сопротивления воздуха растение освобождали от листьев и повторяли запись при тех же условиях. При расшифровке видеозаписей вначале были построены графики отклонений вершины растений, а затем методом графического дифференцирования выведены зависимости ускорения вершины от продолжительности колебаний. Приведено сравнение параметров колебаний, полученных экспериментально и вычисленных по теоретическим зависимостям. Для растений высотой от 0,5 до 1,7 м период колебаний увеличивается: у растений без листьев с 0,2 до 0,84 с, у растений с листьями — с 0,56 до 1,72 с. В начале колебаний период значительно больше, чем в середине и в конце, особенно для растений с листьями. Очевидно, это связано с сопротивлением воздуха, снижающим скорость вершины растения при колебаниях. Установлена экспериментальная зависимость размера частицы препарата от ускорения.

Ключевые слова: сорная растительность, контактное применение пестицидов, колебания растений, ускорение, эксперимент, экология

Ссылка для цитирования: Котов А.А., Алябьев А.Ф. Исследование экологической безопасности уничтожения нежелательной древесной растительности химическим методом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 19–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-19-24

На норму расхода и равномерность распределения препарата по площади при контактном способе внесения гербицидов значительное влияние оказывают физико-механические свойства сорных растений (жесткость), их густота и неравномерность расположения по площади. При обработке нежелательных древесных растений, которые имеют намного более высокую жесткость по сравнению с сорной травянистой растительностью, физико-механические свойства играют очень важную роль.

Изучена система сил, действующих на частицу препарата, нанесенного на растение. Рассмотрены два возможных случая. В первом случае частица находится сверху на отклоненном рабочим органом машины растении (рис. 1, а), во втором случае препарат располагается внизу (рис. 1, б). Составив уравнения равновесия системы сил с учетом принципа Даламбера, после преобразования имеем, что в первом случае для исключения сброса частицы препарата с растения в начальный момент времени должны выполняться условия [1]:

$$\left. \begin{aligned} dF_{\text{цп}} &\geq dG \left(\frac{\cos \Theta}{f} - \sin \Theta \right) - dF_{\text{ин}}; \\ dm &\leq \frac{dF_{\text{цп}}}{g \left(\frac{\cos \Theta}{f} - \sin \Theta \right) - a}; \\ a &\geq g \left(\frac{\cos \Theta}{f} - \sin \Theta \right) - \frac{dF_{\text{цп}}}{dm}, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $dF_{\text{цп}}$ — сила сцепления частицы препарата с поверхностью растения;
 dG — сила тяжести частицы, $dG = dm g$;
 Θ — угол отклонения стволика от вертикали;
 f — коэффициент трения скольжения;
 $dF_{\text{ин}}$ — сила инерции, $dF_{\text{ин}} = dm a$;
 dm — масса частицы;
 g — ускорение свободного падения;
 a — ускорение частицы;
 dT — сила трения скольжения, $dT = fdN$;
 dN — нормальная реакция поверхности опоры.

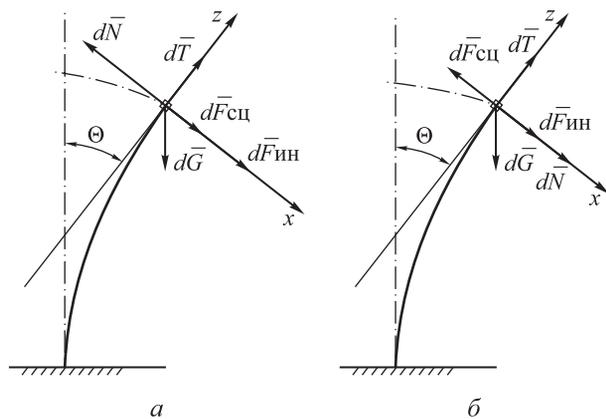


Рис. 1. К расчету сил, действующих на частицу препарата: а — верхнее расположение; б — нижнее расположение
 Fig. 1. The calculation of forces acting on a particle of the drug: а — top location; б — bottom location

Аналогично во втором случае должны выполняться условия (при $dN = 0$)

$$\left. \begin{aligned} dF_{сц} &\geq dG \sin \Theta + dF_{ин}; \\ dm &\leq \frac{dF_{сц}}{g \sin \Theta + a}; \\ a &\leq \frac{dF_{сц}}{dm} - g \sin \Theta. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

При анализе неравенств (1) и (2) установлено, что первый случай нанесения рабочей жидкости предпочтительнее с точки зрения экологии; здесь в начальный момент времени сила инерции играет положительную роль — удерживает частицу на растении.

Потерями рабочей жидкости можно управлять, например, изменяя силу инерции, в частности ускорение

$$a = \frac{d^2x}{dt^2},$$

где x — отклонение точки растения в горизонтальной плоскости;

t — время.

На силу инерции влияют упругие свойства стволика, высота расположения частицы препарата на растении и величина его отклонения в горизонтальной плоскости.

Выполним исследование экологической безопасности нанесения препарата на растение. При этом рассмотрим самый неблагоприятный случай, а именно: первое неравенство в системе (2).

Сделаем замену:

$$\begin{aligned} dF_{сц} &= F_n = 2\pi\sigma r_c \cos \Theta_c, \\ dG &= dm g, \\ dF_{ин} &= dm a, \end{aligned}$$

где F_n — сила поверхностного натяжения [2, 3];
 σ — коэффициент поверхностного натяжения;
 r_c — радиус сегмента жидкости на растении;
 Θ_c — краевой угол смачивания.

Здесь

$$dm = dV \rho_{ж} = \frac{1}{2} \frac{4}{3} \pi r_c^3 \rho_{ж} = \frac{2}{3} \pi r_c^3 \rho_{ж}, \quad a = g \sin \Theta + x''.$$

Тогда радиус сегмента жидкости, способный удержаться на растении, определяется из выражения

$$r_c \leq \sqrt{\frac{3\sigma \cos \Theta_c}{\rho_{ж} (g \sin \Theta + x'')}}. \quad (3)$$

Частица препарата и точка растения, на котором расположена данная частица, образуют систему неподвижную относительно друг друга, в каждый момент времени, поэтому их ускорения будут одинаковыми.

Определим величину ускорения произвольной точки растения, приняв его стволик за конус. В общем виде частоту произвольной формы колебаний конического стержня можно определить по формуле [4]

$$f_n = \frac{\omega_n}{2\pi} = \frac{a_n^2 r}{2\pi H^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (4)$$

где a_n — постоянная, зависящая от формы стержня и формы колебаний;

r — радиус инерции поперечного сечения, расположенного в месте жесткой заделки;

H — длина конического стержня (стволика);

E — модуль упругости растущей древесины;

ρ — плотность растущей древесины.

Для основной формы колебаний имеем

$$f_1 = \frac{\omega_1}{2\pi} = \frac{4,359r}{2\pi H^2} \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (5)$$

где r — радиус основания конуса.

Используем уравнение затухающих колебаний вершины стволика с учетом выражения (4)

$$x = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t) = A_0 e^{-\delta t} \cos\left(\frac{a_n^2 r}{H} \sqrt{\frac{E}{\rho}} t\right). \quad (6)$$

Два раза продифференцируем последовательно уравнение (6):

$$x' = -A_0 e^{-\delta t} (\delta f \cos(\omega t) + \omega \sin(\omega t)), \quad (7)$$

$$\begin{aligned} x'' &= -A_0 e^{-\delta t} (\omega^2 \cos(\omega t) - \\ &- \delta^2 f^2 \cos(\omega t) - 2\delta f \omega \sin(\omega t)). \end{aligned} \quad (8)$$

В эти выражения входят начальное отклонение вершины стволика A_0 , частота колебаний $f(\omega)$,

зависящая от биометрических показателей растений, модуль упругости стволиков и их плотность и логарифмический декремент колебания δ . Для определения этих параметров необходимо провести дальнейшие аналитические и экспериментальные исследования упругих свойств растений.

Для обеспечения экологически безопасной работы машины, в частности, для исключения потерь пестицида с обработанных им растений выполнены исследования затухающих колебаний. В результате получены ускорения вершин растений, совершающих колебательные движения после прохода агрегата при контактной обработке, а также установлена зависимость между размером частицы рабочей жидкости, которая может удержаться на растении, и ускорением.

Материалы и методика

Опыты проводили с осинкой и березой. Сначала намеченное растение освобождали от находящейся рядом растительности (древесной и травянистой), которая могла бы оказать влияние на колебания данного растения. Затем измеряли его биометрические показатели. Потом имитировали проход через растение машины для контактной обработки [5] — вершина растения отклонялась на некоторую величину и оно совершало колебательные движения. Их снимали на цифровую камеру. Съемки проводили на фоне планшета с нанесенными на него координатными осями для увеличения контрастности получаемого изображения и фиксации величины отклонений [6, 7].

Затем растение освобождали от листьев для установления влияния сопротивления воздуха и съемку повторяли при этих же условиях (рис. 2).

Видеозаписи разделяли на кадры с шагом $\Delta t = 0,04$ с. При их расшифровке определяли отклонение вершины растения с привязкой ко времени колебаний.

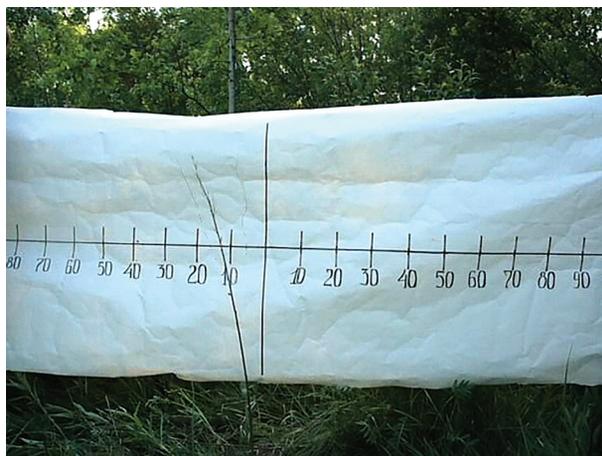


Рис. 2. Определение отклонения стволика
Fig. 2. Determination of the deflection of the tree trunk



Рис. 3. Отклонение березы с листьями в первый полупериод колебаний за 0,04 с ($d_0 = 4$ мм, $H = 0,52$ м)

Fig. 3. The deviation of the trunk of a birch with leaves in the first half-period of oscillations in 0,04 sec ($d_0 = 4$ mm, $H = 0,52$ m)

На рис. 3 показаны два соседних кадра. Береза с листьями совершает первый полупериод колебаний (движется слева направо). Видно, что с момента времени 0,60 с по момент времени 0,64 с после начала колебаний вершина проходит путь в 5 см. Таким образом, средняя скорость ее движения на этом интервале времени составляет 1,25 м/с. Скорости и ускорения вершины растения вычислялись приближенно по формулам

$$V_{cp} = \frac{\Delta S}{\Delta t}, \quad a_{cp} = \frac{\Delta V}{\Delta t}, \quad \Delta V = V_{cp_{i+1}} - V_{cp_i}, \quad (9)$$

где V_{cp} — средняя скорость точки на промежутке времени Δt ;

ΔS — пройденный точкой путь за промежуток времени Δt ;

a_{cp} — среднее ускорение на промежутке времени Δt ;

ΔV — изменение скорости за время Δt ;

$V_{cp_i}, V_{cp_{i+1}}$ — средние скорости на двух соседних промежутках времени.

Результаты исследований показывают, что скорость и ускорение у растений без листьев существенно выше (в 2–5 раз), чем у растений с листьями. Изменение скорости и ускорения у последних происходит относительно медленно. Очевидно, это связано с сопротивлением воздуха, снижающим скорость вершины растения при колебаниях. При уменьшении скорости до некоторого порогового значения период становится постоянным (T_{const}). Установлено, что период колебаний растет с увеличением высоты растений, т. е. в целом выполняется уравнение (5).

Для растений высотой от 0,5 до 1,7 м период колебаний T увеличивается: у растений без листьев с 0,2 до 0,84 с, у растений с листьями —

с 0,56 до 1,72 с. В начале колебаний период значительно больше, чем в середине и особенно в конце. На графиках (рис. 4–6) приведено сравнение параметров колебаний, полученных экспериментально и вычисленных по теоретическим зависимостям (6)–(8). Логарифмический декремент колебания определен экспериментально. В первый период колебаний он варьируется у растений без листьев в пределах 0,38–0,76; у растений с листьями в пределах 1,14–2,14.

В связи с недостаточно высокой точностью построения графиков изменения ускорения для дальнейших расчетов приняты теоретические кривые.

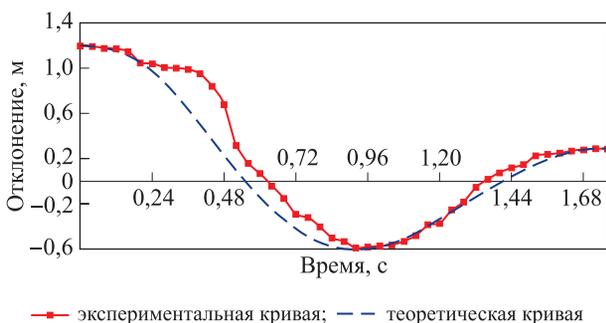


Рис. 4. График колебаний березы с листьями ($d_0 = 14$ мм, $H = 1,75$ м)

Fig. 4. Graph of fluctuations in birch leaves ($d_0 = 14$ mm, $H = 1,75$ m)

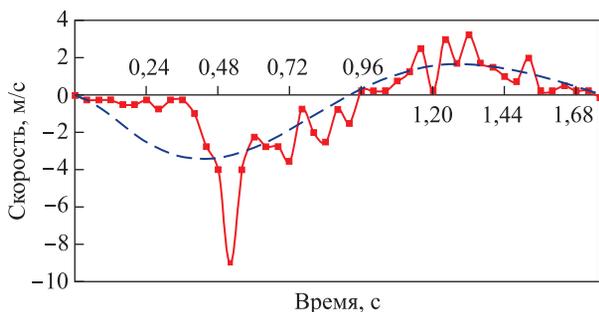


Рис. 5. График изменения скорости вершины березы с листьями ($d_0 = 14$ мм, $H = 1,75$ м)

Fig. 5. Chart speed change tops birch with sheets ($d_0 = 14$ mm, $H = 1,75$ m)

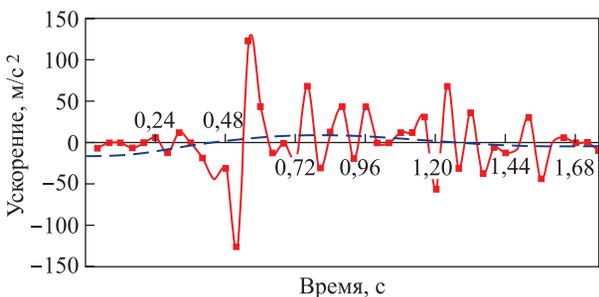


Рис. 6. График изменения ускорения вершины березы с листьями ($d_0 = 14$ мм, $H = 1,75$ м)

Fig. 6. The graph of change of acceleration peaks birch with sheets ($d_0 = 14$ mm, $H = 1,75$ m)

Теоретические графики ускорений для двух пород растений показаны на рис. 7. Наибольшее ускорение в начальный момент времени находится в пределах 16...55 м/с², при этом наблюдается закономерность: чем меньше период колебаний, тем больше ускорение вершины.

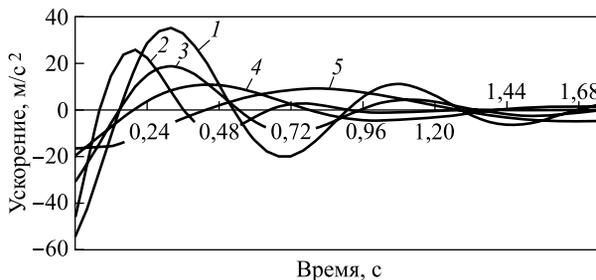


Рис. 7. График изменения ускорения вершины растений с листьями: 1 — осина ($H = 0,90$ м), 2 — осина ($H = 0,55$ м), 3 — береза ($H = 0,54$ м), 4 — береза ($H = 1,00$ м), 5 — береза ($H = 1,75$ м)

Fig. 7. A graph of the acceleration of the tops of plants with leaves: 1 — aspen $H = 0,90$ m, 2 — aspen ($H = 0,55$ m), 3 — birch ($H = 0,54$ m), 4 — birch ($H = 1,00$ m), 5 — birch ($H = 1,75$ m)

Определение потерь препарата выполнено по формуле (3). Принято: $\sigma = 0,0726$ Н/м, $\rho_{ж} = 1000$ кг/м³ при 20 °С [2, 8].

График зависимости радиуса сегмента жидкости, которая может удержаться на растении во время его колебаний, от ускорения приведен на рис. 8.

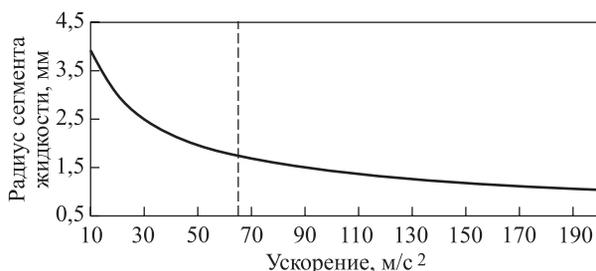


Рис. 8. Зависимость радиуса сегмента жидкости от ускорения

Fig. 8. The dependence of the radius of the segment of the fluid acceleration

При увеличении ускорения от g до максимального $a_{max} = g + x'' = 65$ м/с² (см. рис. 8) при $\Theta = 90^\circ$ радиус частицы пестицида, которая может удержаться на растении, уменьшается с 3,9 до 1,77 мм, а ее масса — с 124,9 до 11,6 мг. Левая часть графика (до вертикальной линии) отражает реально возможные значения ускорений вершин растений при контактной обработке.

Результаты

С учетом того, что при химическом уходе контактным способом норма расхода жидкости не превышает 38 л/га [9, 10], определена толщина

наносимой на растения пленки рабочего раствора. Рассчитано соответствующее этой толщине ускорение, способное оторвать частицу препарата от растения. Толщина пленки раствора составляет 0,7 мм при ускорении вершины, равном 400 м/с^2 . Таким образом, для самых неблагоприятных условий обработки имеется почти четырех кратный запас по ускорению на отрыв.

Список литературы

- [1] Прикладная механика: учеб. пособие для вузов // под ред. В.М. Осецкого, 2-е изд. М.: Машиностроение, 1977. 488 с.
- [2] Бэтчелер Дж. Введение в динамику жидкости / под ред. Г.Ю. Степанова; пер. с англ. М.: Мир, 1973. 760 с.
- [3] Калицун В.И., Дроздов Е.В. Основы гидравлики и аэродинамики. М.: Стройиздат, 1990. 247 с.
- [4] Тимошенко С.П. Колебания в инженерном деле: пер. с англ. 2-е изд. М.: Комкнига, 2006. 440 с.
- [5] Котов А.А. Исследования колебаний стволиков древесных растений // Лесное хозяйство, 2012. № 5. С. 47–48.
- [6] Котов А.А. Новые машины для химического ухода в лесных питомниках и культурах // Лесное хозяйство, 2010. № 3. С. 44–46.
- [7] Котов А.А. Экспериментальные исследования параметров колебаний древесных растений // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 5. С. 196–199.
- [8] Скобелицын Ю.А. Истечение жидкостей через насадки, отверстия, распылители, водовыпуски, капельницы. Краснодар: КСХИ, 1989. 120 с.
- [9] Львов С.И., Путьгин Ю.П., Шашова М.В. Контактный способ нанесения гербицидов и арборицидов // Лесное хозяйство, 1990. № 12. С. 43–45.
- [10] Шутов И.В., Бельков В.П., Мартынов А.Н. Применение гербицидов и арборицидов в лесовыращивании: справочник. М.: Агропромиздат, 1989. 223 с.

Сведения об авторах

Котов Алексей Александрович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kotov@mgul.ac.ru

Алябьев Алексей Федорович — аспирант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), olgaalexrud@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2017 г.

THE STUDY OF ECOLOGICAL SAFETY OF THE DESTRUCTION UNDESIRABLE WOODY VEGETATION BY CHEMICAL METHOD

A.A. Kotov, A.F. Alyabiev

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

kotov@mgul.ac.ru

During contact application arboricideto unwanted woody plants, they are rejected by the working body of the machine, and after its passage do damped oscillations, at which the possible shedding of particles of the drug from the plants under the action of inertial forces. The aim of this work is a theoretical and experimental study of kinematic parameters of the oscillations of the trunks of woody vegetation under chemical care contact way to eliminate losses of working fluid applied on the plants, as well as the determination of the particle size of the drug, able to stay on the plants at different values of acceleration. Consider the forces acting on a particle of working fluid applied to the plant. Thus we consider two cases of location of its plant. The analytical expressions of particle size, able to stay on the plant, and acceleration of the top of the plant are received. To determine the acceleration necessary experimental determination of the initial deflection of the top of the barrel, the oscillation frequency and logarithmic decrement of the oscillations. Therefore, with the help of video from a birch and an aspen performed experiments to determine these parameters. To determine the effect of air resistance, the plant is then freed from the leaves, and the recording was repeated under the same conditions. When you decrypt the videos first, the plots of the deviations of the tops of the plants, and then by the method of graphical differentiation of the obtained dependence of the acceleration peaks as the duration of the oscillations. The comparison of the fluctuation parameters obtained experimentally and calculated from the theoretical dependencies. The period of oscillations for plant height, respectively, from 0,5 to 1,7 m without leaves varies from 0,2 to 0,84 with, for plants with leaves from a 0,56 to 1,72 C. Moreover, at the beginning of the oscillation period is much longer than in their middle and end, especially for plants with leaves. Obviously, this is due to air resistance, slowing the tops of plants with fluctuations. There has been discovered the experimental dependence of the size of drug particles from the acceleration.

Keywords: weeds, contact application of pesticides, the fluctuations of plants, acceleration, experiment, ecology

Suggested citation: Kotov A.A., Alyab'ev A.F. *Issledovanie ekologicheskoy bezopasnosti unichtozheniya nezhelatel'noy drevesnoy rastitel'nosti khimicheskim metodom* [The study of ecological safety of the destruction undesirable woody vegetation by chemical method]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 19–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-19-24

References

- [1] *Prikladnaya mekhanika: ucheb. posobie dlya vuzov; pod red. V.M. Osetskogo* [Applied mechanics: proc. manual for schools; ed. by V. M. Osickova]. Moscow: Mashinostroenie publ., 1977. 488 p.
- [2] Batchelor J. Introduction to fluid dynamics (Russ. ed.: Batchelor J. *Vvedenie v dinamiku zhidkosti*. Moscow, Mir Publ., 1973.760 p.).
- [3] Kalicun V.I., Drozdov E.V. *Osnovy gidravliki i aerodinamiki* [Fundamentals of hydraulics and aerodynamics]. Moscow: Stroizdat publ., 1990. 247 p.
- [4] Timoshenko S.P. Fluctuations in engineering (Russ. ed.: Timoshenko S.P. *Kolebaniya v inzhenernom dele*. Moscow: Komkniga publ., 2006, 440 p.).
- [5] Kotov A.A. *Novye mashiny dlya khimicheskogo ukhoda v lesnykh pitomnikakh i kul'turakh* [New machines for the chemical of care in nurseries and forest cultures]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2010, no. 3, pp. 44–46.
- [6] Kotov A.A. *Issledovaniya kolebaniy stvolikov drevesnykh rasteniy* [Investigation of vibrations of trunks of woody plants]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry]. 2012, no. 5, pp. 47–48.
- [7] Kotov A.A. *Ekspierimental'nye issledovaniya parametrov kolebaniy drevesnykh rasteniy* [An experimental study of the parameters of the oscillations of woody plants]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 5, pp. 196–199.
- [8] Skobelitsyn Yu.A. *Istechenie zhidkostey cherez nasadki, otverstiya, raspyliteli, vodovypuski, kapel'nitsy* [The outflow of fluids through nozzles, holes, sprays, water outlets, droppers]. Krasnodar: KSKhI, publ. 1989, 120 p.
- [9] L'vov S.I., Putyatyn Yu.P., Shashova M.V. *Kontaktnyy sposob naneseniya gerbitsidov i arboritsidov* [The contact method of application of herbicides and arboritsidy]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 1990, no. 12, pp. 43–45.
- [10] Shutov I.V., Bel'kov V.P., Martynov A.N. *Primeneniye gerbitsidov i arboritsidov v lesovyrashchivanii* [The use of herbicides and arboritsidy when growing forests]. Moscow: Agropromizdat publ., 1989, 223 p.

Author's information

Kotov Aleksey Aleksandrovich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), kotov@mgul.ac.ru

Alyabiev Aleksey Fedorovich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), alyabiev@mgul.ac.ru

Received 16.06.2017

СТРОЕНИЕ И ПЛОТНОСТЬ ДРЕВЕСИНЫ ЕЛИ В ПЛАНТАЦИОННЫХ КУЛЬТУРАХ

Д.А. Данилов¹, Д.С. Тюрин²

¹ ФБГНУ Ленинградский НИИСХ «Белогорка», 188338, Ленинградская область, Гатчинский р-н, дер. Белогорка, ул. Институтская, д. 1

² Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, 194021, Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5
stowm200@mail.ru, djdimaturn@gmail.com

Влияние ускоренного лесовыращивания на количественные и качественные показатели древесины является одним из ключевых вопросов интенсивного лесопользования. В разных регионах часто получают противоречивые данные по этому вопросу. В настоящее время проведено исследование влияния ускоренного выращивания древесины ели в плантационных культурах, достигших возраста 40 лет, созданных в Ленинградской области. Отмечается, что выращенная древесина ели по показателям плотности не ниже, а на объектах с уходами выше средних данных для этой породы в регионе исследования. При изучении воздействия структурных элементов ксилемы на плотность древесины выявлен, что на данном возрастном этапе наибольшее влияние на эту характеристику оказывает зона ранней древесины. При исследовании микро-структурных элементов древесины ели установлено, что после ухода больше изменяются количественные показатели зоны ранней ксилемы, а не поздней части годичного прироста. Путем дисперсионного анализа количественных данных выявлено, что наибольшее статистически значимое влияние на плотность древесины ели, выращиваемой по интенсивной технологии, на данном возрастном этапе оказывает количество клеток ранней ксилемы. При многофакторном дисперсионном анализе вклад других структурных показателей древесины менее значителен. На основании проведенного исследования можно сделать заключение, что выращиваемая по интенсивной технологии древесина ели как балансовое сырье для нужд целлюлозно-бумажного производства имеет ценные количественные и качественные характеристики. Преобладание зоны ранней древесины с более плотными стенками позволит увеличить выход целлюлозы при варке. Интенсивное лесовыращивание дает возможность получить большее количество балансовой древесины по сравнению с естественными древостоями того же возраста, т. е. сократить вдвое срок выращивания товарной хвойной древесины в условиях региона исследования.

Ключевые слова: плантационные культуры, плотность древесины ели, макро- и микростроение ксилемы, дисперсионный анализ

Ссылка для цитирования: Данилов Д.А., Тюрин Д.С. Строение и плотность древесины ели в плантационных культурах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 25–30.
DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-25-30

В настоящее время получение качественного хвойного балансового сырья для целлюлозно-бумажного производства в кратчайшие сроки является актуальнейшей задачей. Рассматривая вопрос качества древесины, получаемой по интенсивной технологии, необходимо отметить, что плантационное лесовыращивание может стать основным способом производства лесных ресурсов в регионах с интенсивным лесным хозяйством и развитой инфраструктурой, включая предприятия лесопромышленного комплекса [1–3]. Получение необходимого объема древесины в меньшие сроки, чем при выращивании естественных древостоев, и возможность размещения плантаций рядом с потребителями древесины делает плантации доходным лесохозяйственным предприятием. Для целлюлозно-бумажного производства важно, чтобы увеличение объемных показателей древесины сопровождалось увеличением и массовых показателей. Низкая плотность балансовой еловой древесины, используемой в целлюлозно-бумажном производстве, крайне нежелательна, так как ведет к получению менее качественной целлюлозы и меньшему ее выходу, что, в свою оче-

редь, увеличивает затраты на заготовку, доставку и переработку дополнительных объемов сырья.

Помимо экологических и наследственных факторов, влияющих на плотность древесины, большое значение имеют лесохозяйственные мероприятия: посадки с определенной густотой, размещение культур, рубки ухода, внесение удобрений, осушение и т. д. [1, 4–9]. Вопрос качественных показателей древесины, выращиваемой по интенсивной технологии, остается открытым, так как сравниваются объекты, несопоставимые по степени ухода за ними и по географическому расположению. Механизм формирования плотности древесины при ускоренном выращивании хвойных пород до конца не исследован, и не изучен компонентный состав такой древесины. Поэтому необходимо проводить исследования, в которых будет рассмотрено влияние структурных элементов ксилемы на плотность древесины ели в плантационных культурах.

Методика отбора модельных деревьев в пределах плантационных культур ели проводилась по ГОСТ 16483.6–80(СТ СЭВ 1141-78) «Метод отбора модельных деревьев и кражей для опреде-

ления физико-механических свойств древесины насаждений». Для анализа, как правило, использовались образцы в виде цилиндра диаметром 5 мм, извлеченного из дерева возрастным буром, или полосы древесины из шайб, выравненные до толщины 5 мм. Для дальнейших анатомических исследований образцы древесины подготавливались по стандартным методикам, изложенным в работах по данному направлению [5, 10–12]. Базисная плотность древесины определялась по методике О.И. Полубояринова [7]. Для изучения анатомической структуры древесины использовали цифровой электронный микроскоп LEICA DVM5000 с программным обеспечением Leica Application Suite на базе ресурсного центра «Геомодель» Санкт-Петербургского государственного университета.

Гистометрические замеры трахеид проводили вдоль радиальных рядов клеток. Ряды для измерений выбирали случайным образом. Минимальное допустимое количество измеряемых рядов клеток равно 5, так как в этом случае относительная погрешность измерения радиальных размеров клеток и толщины клеточной стенки не будет превышать 10 % [10, 11]. Полученный материал обрабатывался методами математической статистики с помощью приложения Microsoft Excel и пакета прикладных программ StatPlus 2011, WinGIS, GIS-Панорама 2008 версия 10.6.3, достоверность различия между показателями определялась на 95-процентном доверительном уровне.

Объектами исследования были плантационные культуры ели с разной густотой и разными режимами ухода, заложенные в Ленинградской области (1976 г.) в Сиверском лесхозе, на бывшем

заболоченном и заросшем сенокосе, после предварительной мелиорации и подготовки участка. Из уходов за насаждениями проводились уборка живого напочвенного покрова и кустарниковой поросли гербицидами и вносились, локально под корень, НРК-удобрения. Данный объект являлся опытным стационаром ЛенНИИЛХа (ныне СпбНИИЛХ). Одной из основных целей закладки этих опытных объектов было получение балансовой древесины для ЦБП за короткий оборот рубки — 40 лет.

В настоящее время на опытном объекте древо-стои достигли данного возраста и несомненный интерес представляют качественные характеристики выращиваемой древесины.

Приведенные в табл. 1 количественные характеристики выращиваемых культур ели по вариантам опыта с разной густотой посадки показывают, что данные насаждения произрастают по Ia–I классу бонитета и имеют запас, превышающий запас нормальных чистых древостоев ели данного возраста для региона исследования [13].

Густота снижена в 2000 г. до 1600 шт./га.

В ранее проведенных исследованиях было изучено влияние строения макроструктуры древесины ели на ее плотность. Полученные результаты показали значимую обратную взаимосвязь базисной плотности древесины с долей ранней древесины и шириной годичного слоя для ели и слабую — с долей поздней древесины. Авторами было выдвинута гипотеза о том, что на данном этапе развития этих пород количество ранней древесины в большей мере определяет базисную плотность древесины, чем доля поздней древесины [2, 14].

Т а б л и ц а 1

Таксационные показатели плантационных культур ели по вариантам опыта (2014 г.)
Inventory indices of plantation crops eaten by variants of experience (2014)

Вариант опыта	шт./га	Средние		Сумма площадей сечений, м ² /га	Запас, м ³ /га
		высота, м	диаметр, см		
Густота посадки 1 тыс. шт./га					
Контроль	774	16,3	20,5	25,5	208
Удобрения + гербициды	893	17,8	21,9	35,5	312
Густота посадки 2 тыс. шт./га					
Контроль	1825	15,9	16,5	36,8	294
Гербициды*	1012	17,2	21,2	35,6	304
Удобрения + гербициды*	965	17,1	20,7	32	272
Густота посадки 4 тыс. шт./га					
Контроль	2073	15,6	15,1	40,6	319
Гербициды*	1775	16,4	17,4	43,4	356
Удобрения + гербициды*	1589	16,7	18,2	41,4	345
* Густота снижена в 2000 г. до 1400 шт./га					

Т а б л и ц а 2

**Характеристики строения древесины ели в плантационных культурах
(за период 15–40 лет) по вариантам опыта**
Indicators of the structure of spruce wood in plantation crops (for the period 15–40 years)
according to variants of experience

Вариант опыта	Средняя базисная плотность древесины, кг/м ³	Среднее количество клеток поздней древесины в годичном приросте, шт.	Средняя толщина клеточной стенки поздней древесины, мкм	Среднее количество клеток ранней древесины в годичном приросте, шт.	Средняя толщина клеточной стенки ранней древесины, мкм
Густота посадки 1 тыс. шт./га					
Контроль	411	16	2,41	133	1,81
Гербициды	414	25	2,65	100	2,69
Удобрение + гербициды	429	15	2,88	92	2,19
Густота посадки 2 тыс. шт./га					
Контроль	384	17	2,60	100	1,90
Гербициды	400	19	2,34	65	2,09
Густота посадки 4 тыс. шт./га					
Контроль	383	20	2,85	66	2,4
Гербициды	412	20	3,31	54	2,81

Для подтверждения гипотезы о влиянии доли ранней древесины на плотность древесины в целом была проведена электронная микроскопия клеток ксилемы образцов древесины ели в плантационных культурах. В качестве образцов отбирались керны древесины из наиболее представительных деревьев на пробных площадях по вариантам опыта. Это позволило получить данные о количественном содержании клеток ранней и поздней древесины в годичных приростах, а также о толщине их клеточных стенок (табл. 2). Анализ полученных данных показывает, что за период опыта при любой густоте происходит уменьшение количества клеток ранней древесины в годичном приросте у елей в секциях с уходами по сравнению с елями контрольных секций. Необходимо отметить, что количество клеток поздней древесины после уходов возросло незначительно по сравнению с елями в секциях без ухода. Средняя толщина клеточных стенок поздней и ранней ксилемы увеличилась на плантациях с уходами при густоте 1 тыс. и 4 тыс. шт./га. В секции с густотой 2 тыс. шт./га толщина клеточной стенки возросла относительно контроля только у клеток поздней ксилемы. Одним из факторов изменений в строении древесины на опытных объектах является снижение густоты в возрасте 25 лет, проведенное в секциях с густотой 2 тыс. и 4 тыс. шт./га. В более ранних исследованиях отмечалось, что разреживание еловых насаждений не приводит к уменьшению плотности древесины или ста-

тистически недостоверно [2, 7, 14]. В наших опытах плотность древесины не уменьшилась по сравнению с таковой в секциях без ухода и разреживания. Плотность (базисная) древесины ели в секциях с уходами выше средних значений для этой породы в регионе исследования [7, 13].

Вариабельность плотности является одним из важных показателей однородности древесины ели, как балансового сырья для получения целлюлозы. Вариабельность плотности древесины по ступеням толщины выше в секциях с уходами ($C_v = 8,8 \dots 12,6 \%$), на контроле этот показатель ниже ($C_v = 5,7 \dots 10,5 \%$). По-видимому, это обусловлено большей густотой древостоя в секциях с уходами, а также более активным ростом и меньшей конкуренцией за минеральное питание в связи с заранее проведенным внесением удобрений и уборкой конкурирующего травяного покрова (табл. 3). Данная тенденция отмечалась и ранее как для лесокультурных насаждений, так и для естественных древостоев [1, 2, 7, 14, 15].

В целом уходами увеличивают вариабельность плотности древесины, но не настолько, что является положительным фактором для получения однородного по своим показателям древесного сырья.

Изменение количества клеток ранней и поздней древесины, а также толщины клеточных оболочек служат наглядным примером воздействия на древостой. Вариации этих показателей влияют на плотность древесины [7]. При этом возможны

Т а б л и ц а 3

**Вариабельность плотности древесины ели по вариантам уходов
в зависимости от количества стволов, %
Variability in density of spruce wood for options of care,
depending on the number of stems, %**

Cv, %	Густота насаждений, тыс. шт./га					
	1		2		4	
	Контроль	Гербициды + удобрения	Контроль	Гербициды + удобрения	Контроль	Гербициды + удобрения
	10,8	12,6	5,7	10,1	6,4	8,8

следующие варианты изменчивости размеров клеток и толщины их оболочек:

1) при равных размерах клеток варьируют толщина их оболочек и размер полостей;

2) при равной толщине клеточных стенок варьируют размеры клеток и их полостей;

3) одновременно варьируют размеры клеток и толщина их оболочек.

Вследствие этого разные комбинации параметров клеток древесины могут давать одинаковую плотность. С учетом данного обстоятельства проведен анализ отобранных образцов древесины, позволяющий делать выводы о влиянии тех или иных элементов ксилемы на плотность древесины.

В дальнейшем проведен однофакторный и двухфакторный дисперсионный анализ количественных данных о строении ксилемы ели, влияющих на плотность древесины.

Полученные результаты показали, что статистически значимое влияние на плотность древесины в целом оказывает только количество клеток ранней древесины во всех вариантах опыта на объектах в плантационных культурах ели. На долю этого фактора в контрольных секциях приходится 45...68 % (фактический критерий Фишера $F_{ф} = 1,6-9,5$ при теоретическом критерии $F_{т} = 1,45-1,88$, $p = 5$ %) от суммы влияния всех факторов, в секциях с уходами – от 40 до 78 % значимости ($F_{ф} = 1,6-9,5$; $F_{т} = 1,72-4,9$, $p = 5$ %).

Для качественной оценки тесноты связи между признаками было использовано соотношение Чэддока, которое показало заметную и тесную взаимосвязь между исследуемыми признаками (0,65–0,70).

Остальные структурные элементы ксилемы оказывают слабое влияние на плотность древесины ели, хотя и вносят общий вклад в формирование плотности древесины, что подтвердил многофакторный дисперсионный анализ количественных данных строения древесины ели.

Таким образом, при ускоренном выращивании плотность древесины ели в большей мере формируется за счет зоны ранней древесины, что можно рассматривать, как реакцию на внешние

воздействия на данном возрастном этапе этих насаждений.

На основании проведенного исследования можно сделать заключение, что выращиваемая по интенсивной технологии древесина ели как балансовое сырье для нужд целлюлозно-бумажного производства имеет ценные количественные и качественные характеристики. Преобладание зоны ранней древесины с более плотными стенками позволит увеличить выход целлюлозы при варке. Интенсивное лесовыращивание дает возможность получить большее количество балансовой древесины по сравнению с естественными древостоями того же возраста, т. е. сократить вдвое срок выращивания товарной хвойной древесины в условиях региона исследования.

Список литературы

- [1] Гелес И.С. Древесное сырье — стратегическая основа и резерв цивилизации. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. 499 с.
- [2] Данилов Д.А., Степаненко С.М. Строение и плотность древесины ели и сосны в плантационных культурах Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2013. № 204. С. 35–45.
- [3] Global forest resources assessment 2005. FAO, Rome, Italy, 2006.
- [4] Антонов А.М., Коновалов Д.Ю., Чалых Д.Е., Корчагов С.А. О взаимосвязи влияния топографии анатомических элементов на показатели плотности и прочности древесины // Известия Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии, 2010. № 190. С. 25–34.
- [5] Вольнский В.Н. Взаимосвязь и изменчивость физико-механических свойств древесины. СПб.: Лань, 2012. 224 с.
- [6] Леонтьев Л.Л. Биологическое значение удельных характеристик механических свойств древесины // Строение, свойства и качество древесины – 2004. Тр. IV Междунар. симп. СПб. ЛТА, 2004. Т. I. С. 288–292.
- [7] Полубояринов О.И. Плотность древесины. М.: Лесная пром-сть, 1976. 159 с.
- [8] Pretzsch Hans, Rais Andreas. Wood quality in complex forests versus even-aged monocultures: review and perspectives. Wood Sci Technol, 2016, v. 50, pp. 845–880.
- [9] Van der Maaten-Theunissen M., Boden S., Van der Maaten E. Wood density variations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) under contrasting climate conditions in southwestern Germany Annals of Forest Research, 2013, v. 56 (1), pp. 91–103.

- [10] Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных // Новосибирск: Наука, 2000. 232 с.
- [11] Ваганов Е.А., Круглов В.Б., Васильев В.Г. Дендрохронология // Красноярск: СФУ, 2008. 120 с.
- [12] Мелехов В.И., Корчагов С.А., Бабич Н.А. Комплексная оценка качества древесины хвойных пород в культурах: монография. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 130 с.
- [13] Тетюхин С.В., Минаев В.Н., Богомоллова Л.П. Лесная таксация и лесоустройство. Нормативно-справочные материалы по Северо-Западу РФ // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2004. 369 с.
- [14] Тюрин Д.С., Данилов Д.А., Данилов Ю.И. Фитомасса и плотность древесины ели в 40летних плантационных культурах // Известия СанктПетербургской лесотехнической академии, 2016. № 214. С. 120–130.
- [15] Полубояринов О. И., Некрасова Г.Н. Плотность древесины ели по высоте ствола в связи с возрастной структурой древостоев // Лесоведение, 1986. № 2. С. 68–72.

Сведения об авторах

Данилов Дмитрий Александрович — канд. с.-х. наук, директор, ФГБНУ «Ленинградский научно-исследовательский институт сельского хозяйства «Белогорка»», stown200@mail.ru

Тюрин Дмитрий Сергеевич — соискатель кафедры лесных культур, ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», djdimaturn@gmail.com

Статья поступила в редакцию 24.06.2017 г.

THE STRUCTURE AND DENSITY OF SPRUCE WOOD IN PLANTATION CROPS

D.A. Danilov¹, D.S. Tyurin²

¹ Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture «Belogorka», 188338, Leningrad region, Gatchina district, vill. Belogorka, Institutskaya b.1 Russia

² St. Petersburg State Forestry University, 194021, St. Petersburg, Institutsky per., b. 5
stow200@mail.ru, djdimaturn@gmail.com

The effect of accelerated forest growing on both quantitative and qualitative indicators of wood is one of the key issues of intensive forest management. In different regions there was often received conflicting evidence on this issue. In the present study the influence of accelerated growth of spruce wood in the plantation crops under the age of 40 years established in Leningrad region. It is noted that grown fir wood in terms of density lower at sites with higher than average care data for this species in the region. Studies on the effect of structural elements of the xylem in wood density revealed that at this age stage the greatest influence on this indicator has area of early wood. A study of the microstructural elements of spruce wood showed that after treatments evolve more quantitative indicators of the area early in the xylem and not in the late part of the annual increment. Analysis of variance of quantitative data showed that the most statistically significant influence on the density of spruce wood cultivated on intensive technology in this age stage has a number of cells of early xylem. The contribution of other structural indices of wood by multivariate analysis of variance proved to be less significant. On the basis of the conducted research it can be concluded that cultivated on intensive technology fir wood has valuable features quantitative and qualitative, as carrying raw material for the needs of pulp and paper production. The predominance zones of early wood with more dense walls will increase the yield of pulp when cooked. Intensive short term plantations allows to obtain a greater amount of pulpwood in comparison with natural forest stands of the same age, i.e., to cut in two the period of commercial cultivation of coniferous wood in the conditions of the study region.

Keywords: plantation culture, the density of spruce wood, macro– micro construction xylem, analysis of variance

Suggested citation: Danilov D.A., Tyurin D.S. *Stroenie i plotnost' drevesiny eli v plantatsionnykh kul'turakh* [The structure and density of spruce wood in plantation crops]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 25–30. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-25-30

References

- [1] Geles I.S. Drevesnoe syre – strategicheskaya osnova i rezerv tsvivilizatsii [Wood raw materials – strategic basis and reserve of civilization]. Petrozavodsk: KarNTs RAN publ. [KarRC RAS publ.], 2007, 499 p.
- [2] Danilov DA, Stepanenko S.M. Stroenie i plotnost drevesiny eli i sosny v plantatsionnykh kulturakh Leningradskoy oblasti [The structure and density of spruce and pine wood in the plantation crops of the Leningrad Region] *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii* [Izvestia Saint-Petersburg State Forest Technical Academy], 2013, no. 204, pp. 35–45.
- [3] Global forest resources assessment 2005. FAO, Rome, Italy, 2006.
- [4] Antonov A.M., Kononov D.Yu., Chalykh D.E., Korchagov S.A. O vzaimosvyazi vliyaniya topografii anatomicheskikh elementov na pokazateli plotnosti i prochnosti drevesiny [On the relationship of the influence of the topography of the anatomical elements on the indices of density and strength of wood]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Gosudarstvennoy Lesotekhnicheskoy Akademii* [Izvestia Saint-Petersburg State Forest Technical Academy], 2010, no. 190, pp. 25–34.
- [5] Leontyev L.L. Biologicheskoe znachenie udelnykh kharakteristik mekhanicheskikh svoystv drevesiny [Biological significance of specific characteristics of mechanical properties of wood] *Stroenie, svoystva i kachestvo drevesiny-2004. Trudy IV Mezhdunarodnogo simpoziuma* [Structure, properties and quality of wood-2004. Proceedings of the IV International Symposium]. St. Petersburg: LTA publ., 2004, pp. 288–292.
- [6] Volynsky V.N. Vzaimosvyaz' i izmenchivost' fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny [Interrelation and variability of physical and mechanical properties of wood]. SPb.: Lan publ., 2012, 224 p.
- [7] Poluboyarinov O.I. Plotnost' drevesiny [Density of wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' publ. [Timber industry publ.], 1976, 159 p.
- [8] Pretzsch H., Rais A. Wood quality in complex forests versus even-aged monocultures: review and perspectives *Wood Sci Technol*, 2016, v. 50, pp. 845–880.
- [9] Van der Maaten-Theunissen M., Boden S., Van der Maaten E. Wood density variations of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) under contrasting climate conditions in southwestern. Germany *Annals of Forest Research*, 2013, v. 56(1), pp. 91–103.
- [10] Vaganov EA, Shashkin AV. Rost i struktura godichnykh kolets khvoynykh [Growth and structure of annual coniferous ring]. Novosibirsk: Nauka publ., 2000. 232 p.
- [11] Vaganov E.A., Kruglov V.B., Vasiliev V.G. Dendrokronologiya [Dendrochronology]. Krasnoyarsk: SFU, 2008, 120 p.
- [12] Melekhov V.I., Korchagov S.A., Babich N.A. Kompleksnaya otsenka kachestva drevesiny khvoynykh porod v kulturakh [Complex assessment of the quality of coniferous wood in cultures]. Arkhangel'sk: CPI SAFU publ., 2013, 130 p.
- [13] Tetyukhin S.V., Minaev V.N., Bogomolova L.P. Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo. Normativno-spravochnye materialy po Severo-Zapadu RF [Forest taxation and forest management. Reference materials for the North-West of Russia]. Spb.: LTA publ., 2004, 369 p.
- [14] Tyurin D.S., Danilov D.A., Danilov Yu.I. Fitomassa i plotnost drevesiny eli v 40-letnikh plantatsionnykh kulturakh [Phytomass and density of wood spruce in 40-year plantation crops]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*. [Izvestiya St. Petersburg Forestry Academy], 2016, no. 214, pp. 120–130.
- [15] Poluboyarinov O.I., Nekrasova G.N. Plotnost drevesiny eli po vysote stvola v svyazi s vozrastnoy strukturoy drevostoev [Density of wood spruce on height of the trunk in connection with the age structure of stands] *Lesovedenie* [Forest Science], 1986, no. 2, pp. 68–72.

Author's information

Danilov Dmitry Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Director, Federal State Scientific Institution «Leningrad Scientific Research Institute of Agriculture «Belogorka»», Federal Agency of Scientific Organizations, stow200@mail.ru

Tyurin Dmitry Sergeevich — pg. of Forest cultures Department, Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov», djdimaturn@gmail.com

Received 24.06.2017

СМОЛОПРОДУКТИВНОСТЬ И ТЕХНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ

И.Н. Вариводина, А.А. Высоцкий, В.А. Вариводин

ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт лесной генетики, селекции и биотехнологии» («ВНИИЛ-ГИСБиотех»), 394087, Россия, г. Воронеж, ул. Ломоносова, д. 105

biotechcenter@lesgen.vrn.ru

Исследование связи смолопродуктивной способности деревьев с техническими свойствами древесины представляет научный интерес и имеет прикладное значение для диагностирования признака. Авторами установлено, что гистологический состав древесины у деревьев высокой и низкой смолопродуктивности одинаков. Различий в толщине стенок ранних и поздних трахеид, их длине у контрастных по смолопродуктивности деревьев также не отмечено. В результате исследований плотности древесины различных селекционных категорий связь между смолопродуктивностью и плотностью древесины не выявлена. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что отбор плюсовых по смолопродуктивности деревьев следует проводить только по прямому признаку, то есть по количеству выделившейся живицы.

Ключевые слова: смолопродуктивность, селекционная категория, гистологический состав, трахеиды, смоляные ходы, плотность

Ссылка для цитирования: Вариводина И.Н., Высоцкий А.А., Вариводин В.А. Смолопродуктивность и технические свойства древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 31–35.

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-31-35

Смолопродуктивная способность деревьев сосны — важный в хозяйственном отношении признак. Создание и использование высокосмолопродуктивных насаждений целевого назначения позволяет повысить доходность и устойчивость их к корневой рубке, снизить себестоимость и при достаточных объемах внедрения освободиться от импорта канифольно-скипидарных продуктов. В связи с низкой биологической смолопродуктивностью сосны обыкновенной по сравнению с другими видами сосен, используемыми в мировой практике подсадки, проблема селекции сосны на смолопродуктивность для нашей страны особенно актуальна.

Исследование связи смолопродуктивной способности деревьев с анатомическим строением и показателями физических свойств древесины представляет научный интерес с точки зрения выяснения феномена этого признака и имеет прикладное значение для диагностирования признака.

Объектами исследований служили:

- естественные насаждения сосны обыкновенной I–V классов бонитета 8–130-летнего возраста в Воронежской, Тамбовской и Кировской областях;

- производственные лесные культуры, постоянные лесосеменные участки, корнесобственные и прививочные лесосеменные плантации и коллекционно-маточные участки сосны обыкновенной в Воронежской, Тамбовской, Курской, Липецкой, Брянской, Ленинградской и Кировской областях;

- географические культуры М.М. Вересина;

- специально созданные испытательные культуры гибридов от контролируемых скрещиваний и потомств от само- и свободного опыления де-

ревьев сосны обыкновенной разных по смолопродуктивности селекционных категорий, а также архивы клонов, созданных прививкой черенков на неотселектированных подвоях 6–23-летнего возраста, и опытные лесные культуры 13-летнего возраста, созданные укорененными черенковыми саженцами деревьев разных по смолопродуктивности селекционных категорий [1].

Количество выделившейся живицы в подсчитываемых насаждениях определялось модифицированным нами методом микроранений по прямому признаку [2]. Приемники живицы устанавливались на высоте 1,3 м от поверхности почвы. При определении смолопродуктивности деревьев в низковозрастных объектах (до 10 лет) в связи с возрастными их особенностями — на расстоянии 10...15 см от поверхности почвы.

По количеству выделяемой живицы различаются не столько насаждения, произрастающие в неодинаковых экологических условиях, сколько формы деревьев в пределах насаждений. При одинаковых таксационных показателях дерева разной смолопродуктивности за вегетационный период выделяют от 150...200 г до 8...10 кг живицы, что в 3–5 раз выше среднего для насаждения выхода живицы с карры и в 50–60 раз выше в сравнении с выходом живицы у низкосмолопродуктивных деревьев.

Коэффициент варьирования смолопродуктивности деревьев в насаждениях составляет 70–80%. Селекционный же дифференциал, то есть разница между величиной селективируемого признака у наиболее смолопродуктивных деревьев и средним его значением для насаждения, составляет 250...300% и более.

Основное количество деревьев (45...50%) как в естественных, так и в искусственных насажде-

Т а б л и ц а 1

**Структура естественных насаждений сосны обыкновенной
по смолопродуктивности деревьев**
Structure of natural plantations of Scots pine according to the resin productivity of trees

Возраст насаждений, лет	Исследовано деревьев, шт.	Распределение деревьев по категориям смолопродуктивности, % от общего количества				
		до 40	41–80	81–120	121–160	161 и более
130	110	20	23	27	13	17
90	244	28	23	30	15	12
95	250	26	22	24	16	12
95	214	25	21	30	12	12
Итого	814					
Среднее значение		24	21	24	13	16

Т а б л и ц а 2

Гистологический состав древесины у деревьев разной смолопродуктивности
Histological composition of wood in trees of different resin productivity

№ дерева	Диаметр, см	Смолопродуктивность, г/см ³ Д	Содержание, %		
			трахеид	сердцевинных лучей	смоляных ходов
Высокосмолопродуктивные					
10	38	0,20	93,0	4,2	2,8
67	26	0,30	90,5	8,2	1,3
103	30	0,20	91,0	5,6	3,4
Среднее значение	31	0,23	91,5	6,0	2,5
Низкосмолопродуктивные					
17	17	0,04	91,6	5,8	2,6
39	22	0,02	89,2	8,8	2,2
58	30	0,02	90,0	8,6	1,4
Среднее значение	23	0,03	90,3	7,7	2,1

Т а б л и ц а 3

**Количественная характеристика элементов древесины у деревьев
сосны обыкновенной разной смолопродуктивности**
Quantitative characteristics of wood elements in pine trees of different resin productivity

№ дерева	Диаметр трахеид в радиальном направлении, мкм		Толщина стенок трахеид в радиальном направлении, мкм		Количество трахеид по лучу	Длина трахеид поздней древесины, мм
	ранних	поздних	ранних	поздних		
Высокосмолопродуктивные						
10	52 ± 2,4	20 ± 0,7	4,8 ± 0,07	12,0 ± 0,30	41 ± 0,4	4,0 ± 0,07
67	55 ± 2,6	18 ± 0,7	5,0 ± 0,08	9,7 ± 0,25	34 ± 0,3	4,0 ± 0,07
103	49 ± 2,7	24 ± 0,6	4,9 ± 0,09	10,2 ± 0,23	80 ± 0,8	4,0 ± 0,09
Среднее значение	52 ± 2,6	20 ± 0,7	4,9 ± 0,08	10,6 ± 0,26	52 ± 0,5	4,0 ± 0,08
Низкосмолопродуктивные						
17	45 ± 2,2	17 ± 0,5	4,9 ± 0,07	9,5 ± 0,27	16 ± 0,2	3,9 ± 0,05
39	49 ± 2,3	20 ± 0,4	5,1 ± 0,07	8,6 ± 0,26	49 ± 0,5	4,0 ± 0,06
58	37 ± 2,1	20 ± 0,6	4,9 ± 0,07	1,5 ± 0,28	30 ± 0,3	4,0 ± 0,05
Среднее значение	44 ± 2,2	19 ± 0,5	5,0 ± 0,07	9,9 ± 0,27	32 ± 0,4	3,9 ± 0,05

Т а б л и ц а 4

**Показатели плотности древесины
у деревьев сосны обыкновенной
разной смолопродуктивности**
Indicators of the density of wood in pine trees
of ordinary resin productivity

№ дерева	Смоло-продуктивность, г/см ³ Д	Плотность, кг/м ³		
		базисная	в абсолютно сухом состоянии	при нормализованной влажности
Высокосмолопродуктивные				
15	0,21	320	389	408
38	0,29	389	456	479
96	0,20	378	436	450
97	0,30	398	476	493
99	0,20	345	413	432
111	0,30	438	508	529
201	0,20	387	449	467
263	0,30	356	417	439
291	0,30	341	405	422
323	0,21	387	456	476
337	0,30	289	359	376
344	0,30	393	467	480
392	0,30	397	458	476
418	0,23	369	423	443
419	0,30	378	445	466
436	0,29	398	476	496
465	0,25	368	438	457
468	0,30	358	423	443
478	0,22	378	414	433
Среднее значение	0,23	372	437	456
Низкосмолопродуктивные				
7	0,04	335	404	423
84	0,02	345	419	439
91	0,02	341	414	435
105	0,04	368	429	450
147	0,02	428	500	521
157	0,04	337	389	409
190	0,02	345	412	434
197	0,03	405	476	499
211	0,04	345	408	425
215	0,03	342	403	421
373	0,04	384	456	479
384	0,02	301	362	383
452	0,02	356	422	441
474	0,04	301	367	389
475	0,03	440	515	537
482	0,02	409	476	493
Среднее значение	0,03	361	428	448

ниях сосны обыкновенной характеризуется низкой и пониженной смолопродуктивностью (не выше соответственно 40 и 80 % от среднего значения смолопродуктивности для насаждения), деревья средней смолопродуктивности (81...120 % от среднего значения) составляют 20...25 %, примерно такое же количество относится к категориям повышенной (121...160 %), высокой (181...200 %) и очень высокой (201 % и более) смолопродуктивности (табл. 1).

Установлено, что гистологический состав древесины у деревьев высокой и низкой смолопродуктивности одинаков (табл. 2). Количество трахеид в годичном слое по лучу у высокосмолопродуктивных деревьев в 1,6 раза больше, чем у деревьев низкой смолопродуктивности (табл. 3).

Несколько больший (в среднем на 18 %) у исследованных деревьев высокой смолопродуктивности диаметр трахеид. Однако и среди низкосмолопродуктивных деревьев встречаются такие, у которых эти показатели не ниже, чем у некоторых деревьев высокой смолопродуктивности. Различий в толщине стенок ранних и поздних трахеид, их длине у контрастных по смолопродуктивности деревьев также не установлено [3].

На следующем этапе работы авторам показала весьма заманчивой идея выявления связи между смолопродуктивностью деревьев различных селекционных категорий и техническими свойствами древесины. Универсальным показателем технических свойств и качества древесины является плотность. В этом отношении плотность превосходит такие показатели, как ширина годичного слоя и процент поздней древесины. Плотность как показатель качества древесины имеет много преимуществ перед остальными показателями, так как плотность дает весовую характеристику древесины, которая сама по себе уже является критерием качества древесных материалов [4–8].

Плотность древесины определялась на образцах в виде цилиндров изъятых из растущих деревьев на корню с помощью возрастного бурава. Для определения базисной плотности древесины был использован способ максимальной влажности. Плотность древесины в абсолютно сухом состоянии определялась стереометрическим методом.

Результаты исследования показателей плотности древесины сосны у деревьев различных селекционных категорий приведены в табл. 4 [9, 10].

Выводы

В насаждениях сосны поддерживается динамическое равновесие деревьев по смолопродуктивности: независимо от вида сосны, возраста и условий произрастания насаждений основное

количество (45...50 %) характеризуется пониженной и низкой смолопродуктивностью, 25...30 % — средней и примерно такое же количество — повышенной и высокой смолопродуктивностью.

Установлено, что гистологический состав древесины у деревьев высокой и низкой смолопродуктивности одинаков. Различий в толщине стенок ранних и поздних трахеид, их длине у контрастных по смолопродуктивности деревьев также не отмечается. В результате исследований плотности древесины различных селекционных категорий связь между смолопродуктивностью и плотностью древесины не выявлена. Проведенные исследования позволяют сделать вывод, что отбор плюсовых по смолопродуктивности деревьев следует проводить только по прямому признаку, то есть по количеству выделившейся живицы.

Список литературы

- [1] Высоцкий А.А. Селекция сосны на смолопродуктивность и создание насаждений целевого назначения повышенной устойчивости к корневой губке: монография. Воронеж: Наука-Юнипресс, 2015. 217 с.
- [2] Высоцкий А.А. К методике отбора плюсовых по смолопродуктивности деревьев сосны: сб. науч. тр. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1978. С. 26–29.
- [3] Ширнин В.К., Высоцкий А.А., Прокофьев В.И. Особенности анатомической структуры древесины сосен различной смолопродуктивности // Тез. Всесоюз. науч.-техн. конф., 3–4 июня 1981. Воронеж: ЦНИИЛГиС, 1981. С. 78–80.
- [4] Высоцкий А.А., Ширнин В.К. Характеристика смолоносной системы у различных по смолопродуктивности форм сосны обыкновенной // Сб. науч. тр. ВГУ. Воронеж: ВГУ, 1985. С. 30–41.
- [5] Шеверножук Р.Г., Высоцкий А.А. Некоторые итоги, проблемы и перспективы плюсовой селекции // Тез. докл. науч.-практич. конф. Лесная генетика и селекция на рубеже тысячелетий, НИИЛГиС. Воронеж: НИИЛГиС, 2001. 32 с.
- [6] Высоцкий А.А., Мезин В.М. Индивидуальная изменчивость по смолопродуктивности у сосны обыкновенной в Воронежской области // Сб. науч. тр. ВГУ. Воронеж: ВГУ, 1989. С. 87–93.
- [7] Высоцкий А.А., Лавриненко Н.Н. Структура насаждений сосны по смолопродуктивности деревьев // Лесной журнал, 1990. № 3. С. 28–32.
- [8] Ефимов Ю.П. Семенные плантации в селекции и семеноводстве сосны. Воронеж: Истоки, 2000. 252 с.
- [9] Высоцкий А.А. Настоящее и будущее лесной селекции в России: сб. науч. тр. Воронеж: Всероссийский НИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии, 2011. С. 89–96.
- [10] Косиченко Н.Е., Вариводина И.Н., Неделина Н.Ю., Вариводин В.А. Ширина годичного слоя, пористость и водопоглощение древесины сосны обыкновенной // Сб. науч. тр. конф. ВГЛТА, 17–21 мая 2010 г. Воронеж, 2010. С. 273–276.

Сведения об авторах

Вариводина Инна Николаевна — канд. техн. наук, доцент, заведующая отделом лесной генетики и биотехнологии (Центр лесных биотехнологий) ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех», biotechcenter@lesgen.vrn.ru

Высоцкий Анатолий Алексеевич — д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех», biotechcenter@lesgen.vrn.ru

Вариводин Вячеслав Александрович — канд. техн. наук, научный сотрудник лаборатории селекции ФГБУ «ВНИИЛГИСбиотех», warivodin@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2017 г.

RESIN PRODUCTIVITY AND TECHNICAL PROPERTIES OF WOOD

I.N. Varivodina, A.A. Vysotsky, V.A. Varivodin

All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Breeding and Biotechnology, Lomonosov st., 105, Voronezh, Russia, 394087
biotechcenter@lesgen.vrn.ru

The study of the interconnection between the trees resinous ability and the wood technical properties is both a scientific interest and its applied significance for diagnosing a trait. The authors found that the histological composition of the wood in trees of high and low tar yields is the same. Differences in the thickness of the walls of early and late tracheids, their length in contrast to the resinous yield of trees are also not established. As a result of investigations of the density of wood of different breeding categories, the relationship between tar yield and density of wood was not revealed. The carried out researches allow to draw a conclusion, that selection of plus on pitch-yielding trees should be made only on a direct sign, that is on quantity of the allocated gum.

Keywords: resin productivity, selection category, histological composition, tracheids, resin courses, density

Suggested citation: Varivodina I.N., Vysotsky A.A., Varivodin V.A. *Smoloproduktivnost' i tekhnicheskie svoystva drevesiny* [Resin productivity and technical properties of wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 31–35. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-31-35

References

- [1] Vysotskiy A.A. Seleksiya sosny na smoloproduktivnost' i sozdanie nasazhdeniy tselevogo naznacheniya povyshennoy ustoychivosti k kornevoy gubke [Selection of pine for resin productivity and creation of plantations of special purpose for increased resistance to the root sponge]. Voronezh: Nauka-Yunipress publ., 2015, 217 p.
- [2] Vysotskiy A.A. K metodike otbora plyusovykh po smoloproduktivnosti derev'ev sosny [To the technique of selection of pine trees positive for resin productivity] A collection of scientific papers. Voronezh: TsNIILGiS publ., 1978, pp. 26–29.
- [3] Shirnin V.K., Vysotskiy A.A., Prokof'ev V.I. Osobennosti anatomicheskoy struktury drevesiny sosen razlichnoy smoloproduktivnosti [Peculiarities of the Anatomical Structure of Pine Woods of Different Smooproductivity] Thesis All-Union. scientific-techn. Conf., June 3–4, 1981. Voronezh: TsNIILGiS publ., 1981, pp. 78–80.
- [4] Vysotskiy A.A., Shirnin V.K. Kharakteristika smolonosnoy sistemy u razlichnykh po smoloproduktivnosti form sosny obyknovennoy [Characteristics of the resin-bearing system in various forms of Scotch pine according to the resin yield] A collection of scientific papers VGU. Voronezh: VGU publ., 1985, pp. 30–41.
- [5] Shevernozhuk R.G., Vysotskiy A.A. Nekotorye itogi, problemy i perspektivy plyusovoy seleksii [Some results, problems and prospects for positive selection] Thesis scientific-practic. conf. Conf. Forest Genetics and Selection at the Turn of the Millennium, NIILGiS. Voronezh: NIILGiS publ., 2001, p. 32.
- [6] Vysotskiy A.A., Mezin V.M. Individual'naya izmenchivost' po smoloproduktivnosti u sosny obyknovennoy v Voronezhskoy oblasti [Individual variability in resin productivity in Scots pine in the Voronezh Region] A collection of scientific papers VGU. Voronezh: VGU publ., 1989, pp. 87–93.
- [7] Vysotskiy A.A., Lavrinenko N.N. Struktura nasazhdeniy sosny po smoloproduktivnosti derev'ev [Structure of pine plantations according to the productivity of trees] *Lesnoy zhurnal*, 1990, no. 3, pp. 28–32.
- [8] Efimov Yu.P. Semennyye plantatsii v seleksii i semenovodstve sosny [Seed plantations in selection and seed production of pine]. Voronezh: Istoki publ., 2000, 252 p.
- [9] Vysotskiy A.A. Nastoyashchee i budushchee lesnoy seleksii v Rossii [The present and future of forest breeding in Russia] A collection of scientific papers. Voronezh: All-Russian Research Institute of Forest Genetics, Selection and Biotechnology publ., 2011, pp. 89–96.
- [10] Kosichenko N.E., Varivodina I.N., Nedelina N.Yu., Varivodin V.A. Shirina godichnogo sloya, poristost' i vodopogloshchenie drevesiny sosny obyknovennoy [The width of the annual layer, porosity and water absorption of pine wood] A collection of scientific papers VGLTA, 17–21 May 2010. Voronezh, 2010, pp. 273–276.

Author's information

Varivodina Inna Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Head of the Forest Genetics and Biotechnology Department (Forest Biotechnology Center) VNIILGISBIOTECH, biotechcenter@lesgen.vrn.ru

Vysotsky Anatoly Alekseevich — Dr. Sci. (Agricultural), Leading Researcher of the Selection Laboratory of VNIILGISBIOTECH, biotechcenter@lesgen.vrn.ru

Varivodin Vyacheslav Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), research of the selection laboratory of VNIILGISBIOTECH, varivodin@mail.ru

Received 16.06.2017

ИЗМЕНЕНИЕ МОЛЕКУЛЯРНО-ТОПОЛОГИЧЕСКОГО СТРОЕНИЯ ДРЕВЕСИНЫ ДУБА ПРИ ПРОЯВЛЕНИИ ЭФФЕКТА ПАМЯТИ ФОРМЫ

Г.А. Горбачева¹, В.Г. Санаев¹, С.Ю. Белковский¹, З. Пастори²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

² Шопронский университет, Инновационный центр, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky utca 4

gorbacheva@mgul.ac.ru

Исследования в области фундаментального древесиноведения создают научную базу для использования древесины в качестве природного функционального материала. Функциональные материалы обладают заданными свойствами, которые изменяются при изменении параметров окружающей среды (температуры, влажности, давления, электромагнитных полей и т. д.), причем задание этих свойств должно быть управляемым. Древесина является природным функциональным материалом, обладающим эффектом памяти формы. Характеризация эффекта памяти формы (ЭПФ) древесины позволяет детально исследовать деформационные превращения при различных историях деформирования, экспериментально определить показатели ЭПФ, изменения в структуре древесины. Метод термомеханической спектроскопии (ТМС), разработанный в Институте химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, использовался для исследования изменений молекулярно-релаксационного (топологического) строения древесины при различных проявлениях ЭПФ. Эксперименты проводились на образцах строганого шпона из древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). Для образцов постоянной, временной и восстановленной форм древесины дуба экспериментально определены релаксационные параметры, фазовое состояние и молекулярные характеристики фрагментов макромолекул в структуре топологических блоков древесины. Термомеханическая кривая исходной древесины дуба топологически диблочна, с двумя аморфными блоками псевдосетчатого строения. При образовании временной формы и возникновении замороженных деформаций в древесине дуба происходит трансформация топологической структуры, она становится полиблочной, аморфно-кристаллического и псевдосетчатого строения. Появление кристаллической модификации, доля которой составляет 0,55, приводит к значительному уменьшению доли высокотемпературного аморфного блока псевдосетчатого строения. При возвращении начальных физических условий наблюдается восстановление исходной формы и топологически диблочной структуры древесины дуба. Подобные закономерности ранее были выявлены для древесины бука и сосны. Метод термомеханической спектроскопии позволяет установить взаимосвязь деформационных превращений с характером межмолекулярных взаимодействий и межцепной организацией полимеров древесины.

Ключевые слова: природный функциональный материал, эффект памяти формы древесины, термомеханическая спектроскопия, молекулярно-топологическое строение древесины, древесина дуба

Ссылка для цитирования: Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю., Пастори З. Изменение молекулярно-топологического строения древесины дуба при проявлении эффекта памяти формы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 36–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-36-41

Российская Федерация занимает первое место в мире по площади лесов и второе — по запасам древесины [1]. Лесной сектор представляет собой огромный потенциал для сокращения выбросов парниковых газов и снижения углеродоемкости российской экономики в целом. Применение инновационных технологий производства изделий и конструкций из древесины, сокращение потребления энергии, повышение степени переработки древесины, ее повторное использование — все это эффективные меры, позволяющие снизить выбросы парниковых газов [1, 2]. Древесина является традиционным строительным и поделочным материалом благодаря уникальному сочетанию механических, технологических и эксплуатационных свойств. Исследования в области фундаментального древесиноведения создают научную базу для употребления древесины в качестве природного функционального материала. Создание новых функциональных материалов и способов их получения, необходимых для развития высокотехнологичных секторов экономики,

является одной из ключевых задач современного материаловедения. Функциональные материалы обладают заданными свойствами, которые изменяются при изменении параметров окружающей среды (температуры, влажности, давления, электромагнитных полей и т. д.), причем задание этих свойств должно быть управляемым. Древесина является природным функциональным материалом, обладающим эффектом памяти формы. Данный феномен основан на квазиостаточных замороженных деформациях, экспериментально обнаруженных Б.Н. Уголевым в начале 1960-х гг. при сушке закрепленного образца [3]. В последующие годы авторами проводились систематические исследования эффекта памяти [4–9]. Характеризация эффекта памяти формы (ЭПФ) древесины позволила детально исследовать деформационные превращения при различных историях деформирования, экспериментально определить показатели ЭПФ, изменения в структуре древесины. Метод термомеханической спектроскопии (ТМС), разработанный в Институте хими-

ческой физики им. Н.Н. Семенова РАН [10, 11], который базируется на термомеханическом анализе полимеров, позволяет исследовать изменение молекулярно-релаксационного (топологического) строения древесины при различных проявлениях ЭПФ. Исследование молекулярно-топологического строения древесины бука и сосны методом ТМС позволили выявить влияние деформационных превращений на характер межмолекулярного взаимодействия и межцепную организацию полимеров древесины. Образование и исчезновение замороженных деформаций, являющихся носителями эффекта памяти, обусловлено изменениями в системе межмолекулярных взаимодействий (в том числе в сетке водородных связей) [12–14]. При образовании временной и восстановлении исходной форм наблюдается существенная трансформация топологической структуры древесины бука и сосны [7, 15]. Древесина дуба обладает высокими физико-механическими свойствами, широко используется в различных отраслях промышленности.

Для экспериментальных исследований использовались образцы строганого шпона из древесины дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) размерами 250×15×0,6 мм. В табл. 1. представлены процедура испытаний, полученные показатели ЭПФ: R_r (доля обратимых деформаций) и R_f (доля фиксированных деформаций) для образцов древесины дуба постоянной, временной и восстановленной форм. Термомеханические кривые древесины дуба сняты в методическом варианте ТМС при взаимно перпендикулярной ориентации векторов приложения термомеханической нагрузки и оси направления волокон. Температурный интервал сканирования составил –100...+300 °С. Для образцов постоянной, временной и восстанов-

ленной форм древесины дуба экспериментально определены релаксационные параметры, фазовое состояние и молекулярные характеристики фрагментов макромолекул в структуре топологических блоков древесины.

Термомеханическая кривая исходной древесины дуба топологически диблочна, с двумя аморфными блоками псевдосетчатого строения, свободный объем в высокотемпературном блоке сохраняется неизменным вплоть до температуры начала разложения древесины. При образовании временной формы в результате одновременного действия изгибающих усилий и снижения влажности возникают обратимые замороженные деформации. В топологической структуре древесины дуба при этом происходит значительная трансформация, она становится полиблочной, аморфно-кристаллического и псевдосетчатого строения, с более высокой температурой начала разложения (табл. 2). Появление кристаллической модификации ($T_{пл} = 181$ °С, $M_k = 63\ 100$, степень кристалличности $\phi_k = 0,55$) приводит к значительному уменьшению доли высокотемпературного аморфного блока псевдосетчатого строения. Это возвращении начальных физических условий наблюдается восстановление постоянной формы и топологически диблочной структуры древесины дуба. Топологическая структура древесины дуба в состоянии восстановленной формы аналогична ее исходному состоянию и свидетельствует о практически полной ее структурной обратимости, хотя и с несколько различающимися молекулярно-релаксационными характеристиками, что обусловлено наличием необратимых пластических деформаций. При этом увеличивается доля низкотемпературного аморфного блока псевдосетчатого строения. Подобные закономерности ранее были выявлены

Т а б л и ц а 1

Характеристика образцов и показатели эффекта памяти формы древесины дуба
Characteristics of samples and indicators of memory effect of the shape of oak wood

№ образца	1-Д-54	1-Д-55	1-Д-56
Форма образца	Постоянная	Временная 	Восстановленная 
Процедура испытаний	Перед испытаниями	Деформирование при изменении влажности Увлажнение при $t = 80$ °С до $W_n > 30$ %, изгиб, сушка под нагрузкой при $t = 80$ °С до $W_k \approx 8$ %, разгрузка	Возвращение исходных физических условий Предварительное деформирование при изменении влажности, повторное увлажнение до $W_n > 30$ %, $t = 80$ °С, сушка в свободном состоянии до влажности $W_k \approx 8$ %
Деформация образца	$\varepsilon = 0$	$\varepsilon = \varepsilon_s = \varepsilon_f + \varepsilon_p$, где ε_f – замороженная деформация;	$\varepsilon = \varepsilon_p$, где ε_p – пластическая деформация
Показатели ЭПФ		$R_f = 0,9771$	$R_r = 0,7815$

Молекулярно-топологическое строение древесины дуба
Molecular-topological structure of oak wood

Характеристики древесины	1-Д-54, постоянная форма	1-Д-55, временная форма	1-Д-56, восстановленная форма
Низкотемпературный аморфный блок псевдосетчатого строения			
Температура стеклования T_c , °C	-27	-20	-37
Коэффициент линейного термического расширения $\alpha_1 \cdot 10^5$, град ⁻¹	60,6	43,8	40,2
Коэффициент линейного термического расширения $\alpha_2 \cdot 10^5$, град ⁻¹	176,9	90,9	111,1
Геометрический свободный объем V_f	0,858	0,357	0,502
Среднечисленная молекулярная масса M_{cn}	19,9	10,2	24,9
Средневесовая молекулярная масса M_{cw}	26,7	13,4	34,1
Коэффициент полидисперсности K	1,34	1,32	1,37
Температура плато высокоэластичности T_{∞} , °C	19	7	4
Весовая доля аморфного блока ϕ_a	0,28	0,21	0,35
Высокотемпературный аморфный блок псевдосетчатого строения			
Температура стеклования T'_c , °C	24	39	46
Геометрический свободный объем V'_f	0,434	0,851	0,679
Среднечисленная молекулярная масса $M'_{cn} \cdot 10^{-3}$	107,0	83,9	97,3
Средневесовая молекулярная масса $M'_{cw} \cdot 10^{-3}$	165,4	123,9	148,6
Коэффициент полидисперсности K'	1,55	1,48	1,53
Температура плато высокоэластичности T'_{∞} , °C	176	154	193
Весовая доля аморфного блока ϕ'_a	0,72	0,34	0,65
Кристаллическая модификация			
Температура начала плавления $T_{пл}$, °C	-	181	-
Коэффициент термического расширения плавления кристаллитов, пропорциональный скорости плавления $\alpha_k \cdot 10^5$, гр ⁻¹	-	285,7	-
Молекулярная масса закристаллизованных цепей в структуре кристаллической модификации $M_k \cdot 10^{-3}$	-	63,1	-
Степень кристалличности j_k	0,00	0,55	0,00
Температура деструкции T_d , °C	231	278	225
Влажность W , %	6,9	4,8	7,4

для древесины бука и сосны [7, 15]. Изменение соотношения блоков в топологической структуре древесины дуба показано на рисунке

Таким образом, для характеристики эффекта памяти формы для постоянной, временной и восстановленной форм образцов из древесины дуба получены количественные и молекулярно-релаксационные характеристики. Экспериментально подтверждена обнаруженная ранее у древесины сосны и бука обратимая трансформация топологической структуры при образовании временной и восстановлении постоянной форм. Для различных древесных пород метод термомеханической спектроскопии позволяет установить взаимосвязь деформационных превращений с характером межмолекулярных взаимодействий и межцепной организацией полимеров древесины.

Исследования выполнены в лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудо-

ванием «Центр физико-механических испытаний древесины» (ЦКП ЦФМИД) Мытищинского филиала ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана» (национальный исследовательский университет)».

Авторы выражают благодарность Ю.А. Ольхову за помощь в получении данных по термомеханической спектроскопии древесины дуба.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ «Исследование строения, свойств и характеристик древесины как природного функционального материала для разработки энергосберегающих и экологических технологий продукции с заданными механическими, электрическими, химическими и тепловыми характеристиками».

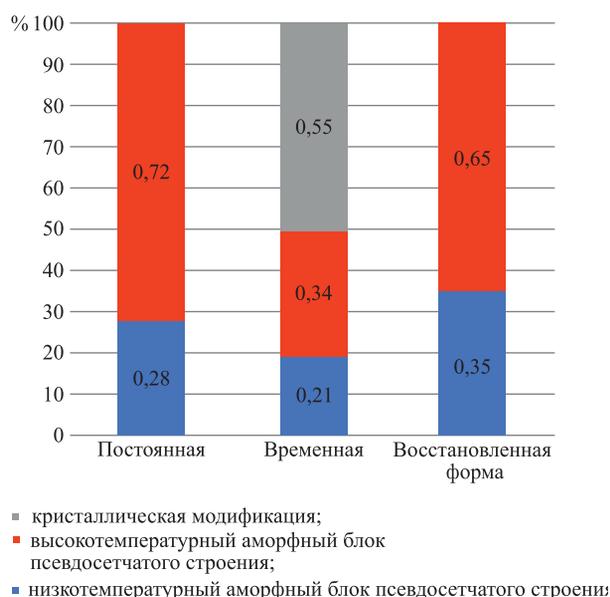


Рис. Изменения в топологической структуре древесины дуба для временной и восстановленной форм при эффекте памяти

Fig. Changes in the topological structure of oak wood for temporary and reconstructed forms with the memory effect

Список литературы

- [1] Леса и лесные ресурсы Российской Федерации: Ежегодный доклад о состоянии и использовании лесов в Российской Федерации в 2011 г. // Федеральное агентство лесного хозяйства, 2011. URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/other/77/1.pdf> (Дата обращения: 14.05.2017).
- [2] Пастори З., Борчок З., Горбачева Г.А. Баланс CO₂ различных видов стеновых конструкций // Строительные материалы, 2015. № 12. С. 76–77.
- [3] Уголев Б.Н. Метод исследования реологических свойств древесины при переменной влажности // Заводская лаборатория, 1961. № 27 (2). С. 199–203.
- [4] Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Возможности регулирования показателей эффекта памяти формы древесины // Современные проблемы биологического и технического лесоведения: сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. С. 46–50.
- [5] Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Характеризация удельной поверхности древесины при эффекте памяти формы // Лесной журнал, 2016. Т. 6. № 3 (23). С. 79–83.
- [6] Gorbacheva G.A., Olkhov Yu.A., Ugolev B.N., Belkovskiy S.Yu. Research of Molecular-Topological Structure at Shape-Memory Effect of Wood. Proc. of the 57th Int. Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products». Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 187–195.
- [7] Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu., Gorbachev S.A. Methods of characterization of memory effect of wood. Pro Ligno, 2015, vol. 11, no. 4, pp. 65–72.
- [8] Ugolev B., Gorbacheva G., Belkovskiy S. Quantification of wood memory effect. Proc. 2012 IAWA «Wood the Best Material for Mankind» and the 5th International Symposium on the «Interaction of Wood with Various Forms of Energy». Zvolen, Slovakia, 2012, pp. 31–37.
- [9] Ugolev B.N. Wood as a natural smart material. Wood Science and Technology. Journal of the International Academy of Wood Science, 2014, v. 48, no. 3, pp. 553–568.
- [10] Способ определения молекулярно-массового распределения полимеров: Пат. 1763952 Российская Федерация, МПК G01N21/00 / Ольхов Ю.А., Иржак В.И., Батулин С.М.; заявитель и патентообладатель Отделение института хим. физики АН СССР. № 4767397/05, заявл. 27.10.89, опубл. 23.09.1992, бюл. № 35.
- [11] Olkhov Yu. A., Jurkowski B. On the more informative version of thermomechanical analysis at compression mode. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, 2005, v. 81, no. 3, pp. 489–500.
- [12] Уголев Б.Н., Галкин В.П., Горбачева Г.А., Аксенов П.А., Баженов А.В. Изменение наноструктуры древесины при влагозадержанных деформациях // Науч. тр. МГУЛ. Вып. 338 «Технология и оборудование для переработки древесины». М.: МГУЛ, 2007. С. 9–16.
- [13] Эриньш П.П. Строение и свойства древесины как многокомпонентной полимерной системы // Химия древесины, 1977. № 1. С. 8–25.
- [14] Sisson A.L., Lendlein A. Advances in actively moving polymers. Macromol. Mater. Eng., 2012, v. 297, pp. 1135–1137.
- [15] Горбачева Г.А., Уголев Б.Н., Санаев В.Г., Белковский С.Ю. Характеризация эффекта памяти формы древесины бука методом термомеханической спектроскопии // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2016. Т. 20. № 4. С. 10–14.

Сведения об авторах

Горбачева Галина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры лесоведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gorbacheva@mgul.ac.ru

Санаев Виктор Георгиевич — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой лесоведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rector@mgul.ac.ru

Белковский Серафим Юрьевич — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры лесоведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), belkovskiy@ro.ru

Пастори Золтан — директор Инновационного центра Шопронского университета, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Статья поступила в редакцию 26.06.2017 г.

THE CHANGE OF THE MOLECULAR-TOPOLOGICAL STRUCTURE OF OAK WOOD AT SHAPE MEMORY EFFECT

G.A. Gorbacheva¹, V.G. Sanaev¹, S.Yu. Belkovskiy¹, Z. Pasztor²

¹ BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

² University of Sopron, Innovation Center, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky utca 4

gorbacheva@mgul.ac.ru

Research in the field of fundamental wood science is the scientific basis for the use of wood as a natural functional material. Functional materials have properties that change with changing environmental parameters (temperature, humidity, pressure, electromagnetic fields, etc.), and set these properties should be managed. Wood is a natural functional material possessing a shape memory effect. Characterization of shape memory effect (SME) of the wood allows to make a detailed study of deformative conversions at various histories of deformation, quantification of SME, changes in the wood structure. Method of thermomechanical spectrometry (TMS), developed at the Institute of chemical physics of the RAS, was used to study changes in molecular relaxation (topological) structure of wood at shape memory effect. The samples of sliced veneer from the oak wood (*Quercus robur* L.) were used. For samples of oak wood at permanent, temporary shapes and shape after recovery the relaxation parameters, phase state and molecular characteristics of the fragments of macromolecules in the structure of topological blocks were experimentally determined. Thermomechanical curve of the original oak wood has topologically diblock structure with two amorphous blocks with pseudonetwork structure. During the formation of the temporary shape and appearance of frozen strains the transformation of topological structure of oak wood is observed, it becomes multi-block, amorphous and crystal structure and pseudonetwork structure. The appearance of crystalline modifications, which share is 0,55, leads to a significant decrease in the proportion of the high-temperature amorphous block of pseudonetwork structure. When returning the initial physical conditions the recovering of permanent shape and the topologically diblock structure of oak wood take place. The same transformations of topological structure were previously observed for beech and pine wood. Method of thermomechanical spectrometry allows detect the relationship of deformative conversions with the intermolecular interactions and inter-chain organization of the wood polymers.

Keywords: natural functional material, shape memory effect of wood, thermomechanical spectrometry, molecular topological structure of wood, oak wood

Suggested citation: Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu., Pastori Z. *Izmenenie molekulyarno-topologicheskogo stroeniya drevesiny duba pri proyavlenii efekta pamyati formy* [The change of the molecular-topological structure of oak wood at shape memory effect]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 36–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-36-41

References

- [1] Lesa i lesnye resursy Rossiyskoy Federatsii: Ezhegodnyy doklad o sostoyanii i ispol'zovanii lesov v Rossiyskoy Federatsii v 2011 g. [Forests and forest resources of the Russian Federation: annual report on the status and use of forests in the Russian Federation in 2011] Federal'noe agentstvo lesnogo khozyaystva, 2011 [Federal Forestry Agency, 2011]. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru/docs/other/77/1.pdf>
2. Pasztori Z., Borchok Z., Gorbacheva G.A. Balans CO₂ razlichnykh vidov stenovykh konstruksiy [CO₂ balance of different types of wall structures] *Stroitel'nye materialy* [Construction Materials], 2015, no. 12, pp. 76–77.
3. Ugolev B.N. Metod issledovaniya reologicheskikh svoystv drevesiny pri peremennoy vlazhnosti [Method of investigation of the rheological properties of wood at variable moisture content] *Zavodskaya laboratoriya* [Factory Laboratory]. Moscow, 1961, no. 27 (2), pp. 199–203.
4. Gorbacheva, G.A., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu. Vozmozhnosti regulirovaniya pokazateley efekta pamyati formy drevesiny [The possibility of regulating of the quantities of the shape memory effect of wood] *Sovremennye problemy biologicheskogo i tekhnicheskogo drevesinovedeniya: Sbornik trudov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Problems of Biological and Technical Wood Science: Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference]. Yoshkar-Ola: PGTU publ., 2016, pp. 46–50.
5. Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu. Kharakterizatsiya udel'noy poverkhnosti drevesiny pri effekte pamyati formy [Characterization of specific wood surface at shape memory effect] *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2016, v. 6, no. 3 (23), pp. 79–83.
6. Gorbacheva G.A., Olkhov Yu.A., Ugolev B.N., Belkovskiy S.Yu. Research of Molecular-Topological Structure at Shape-Memory Effect of Wood. Proc. of the 57th Int. Convention of SWST «Sustainable Resources and Technology for Forest Products». Zvolen, Slovakia, 2014, pp. 187–195.
7. Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu., Gorbachev S.A. Methods of characterization of memory effect of wood. *Pro Ligno*, 2015, vol. 11, no. 4, pp. 65–72.
8. Ugolev B., Gorbacheva G., Belkovskiy S. Quantification of wood memory effect. Proc. 2012 IAWA «Wood the Best Material for Mankind» and the 5th International Symposium on the «Interaction of Wood with Various Forms of Energy». Zvolen, Slovakia, 2012, pp. 31–37.
9. Ugolev B.N. Wood as a natural smart material. *Wood Science and Technology. Journal of the International Academy of Wood Science*, 2014, v. 48, no. 3, pp. 553–568.

10. Sposob opredeleniya molekulyarno-massovogo raspredeleniya polimerov [Method for determining the molecular weight distribution of polymers] Pat. 1763952 Rossiyskaya Federatsiya, MPK G 01 N 21/00. Ol'khov Yu.A., Irzhak V.I., Baturin S.M.; zayavitel' i patentoobladatel' Otdelenie instituta khimicheskoy fiziki AN SSSR. № 4767397/05, zayavl. 27.10.89, opubl. 23.09.1992, bul. no. 35.
11. Olkhov Yu. A., Jurkowski B. On the more informative version of thermomechanical analysis at compression mode. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 2005, v. 81, no. 3, pp. 489–500.
12. Ugolev B.N., Galkin V.P., Gorbacheva G.A., Aksenov P.A., Bazhenov A.V. Izmenenie nanostruktury drevesiny privlagozaderzhannykh deformatsiyakh [Change the nanostructure of wood in moisture delayed deformations] *Nauchnye trudy MGUL*, v. 338 «Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny» [Coll. MSFU Proceedings, v. 338 «Technology and equipment for wood processing»]. Moscow: MGUL publ., 2007, pp. 9–16.
13. Erin'sh P.P. Stroenie i svoystva drevesiny kak mnogokomponentnoy polimernoy sistemy [Structure and properties of wood as a multicomponent polymer system] *Khimiya drevesiny* [Wood Chemistry]. Moscow, 1977, no. 1, pp. 8–25.
14. Sisson A.L., Lendlein A. Advances in actively moving polymers. *Macromol. Mater. Eng.*, 2012, v. 297, pp. 1135–1137.
15. Gorbacheva G.A., Ugolev B.N., Sanaev V.G., Belkovskiy S.Yu. Kharakterizatsiya effekta pamyati formy drevesiny buka metodom termomekhanicheskoy spektrometrii [Characterization of the shape memory effect of beech wood by thermomechanical spectrometry] *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2016, v. 20, no. 4, pp. 10–14.

Author's information

Gorbacheva Galina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Wood Science and Technology, BMSTU (Mytishchi branch), gorbacheva@mgul.ac.ru

Sanaev Victor Georgievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Department of Wood Science and Technology, BMSTU (Mytishchi branch), rector@mgul.ac.ru

Belkovskiy Serafim Yurevich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer of Department of Wood Science and Technology, BMSTU (Mytishchi branch), belkovskiy@ro.ru,

Pastori Zoltan — Ph. D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Received 26.06.2017

УДК 674.812.419

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-42-46

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ФАНЕРЫ С ВНУТРЕННИМ ЗАПОЛНЕНИЕМ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ОТ ФОРМАТНОЙ ОБРЕЗКИ

С.А. Угрюмов

Поволжский государственный технологический университет, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3, ПГТУ

ugr-s@yandex.ru

В фанерном производстве неизбежно образуется большое количество отходов, в том числе отходы от форматной обрезки в виде реек шириной 2,5...3,5 см, составляющих в зависимости от формата производимой фанеры 7...9 % объема необрезной фанеры. Данные отходы могут быть возвратно использованы при формировании внутреннего слоя фанеры. Проанализированы известные технические решения по использованию отходов фанерного производства, предложены конструкции фанерной продукции с внутренними слоями на основе отходов от форматной обрезки, изготовлены опытные образцы фанеры и исследованы ее основные прочностные характеристики. Для оценки прочностных характеристик применялись стандартные методики, при этом для оценки предела прочности при изгибе вдоль волокон наружных слоев и для оценки предела прочности при скалывании по клеевому слою были изготовлены образцы таким образом, чтобы в поперечном сечении оказалось не менее двух реек во внутреннем слое. Результаты экспериментов показали, что при формировании фанеры с внутренними слоями из реек, полученных из отходов от форматной обрезки, происходит некоторое снижение прочности, что обосновано неоднородностью внутреннего заполнения и наличием зазоров. В то же время предел прочности при изгибе вдоль волокон у всех образцов превышает нормированное значение по ГОСТ 3916.1–96. Особенно важно то, что конструкция такой фанеры позволяет снизить ее плотность. Предложенный вариант производства фанеры с внутренним заполнением на основе отходов от форматной обрезки позволяет эффективно утилизировать и перерабатывать отходы фанерного производства с выпуском конструкционного материала, уменьшить материалоемкость производства фанеры за счет снижения расхода лущеного шпона и клеевых материалов, снизить себестоимость выпускаемой фанерной продукции.

Ключевые слова: фанера, лущеный шпон, отходы от форматной обрезки, рейки, склеивание, прочность, плотность

Ссылка для цитирования: Угрюмов С.А. Исследование прочностных свойств фанеры с внутренним заполнением на основе отходов от форматной обрезки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 42–46. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-42-46

Фанера общего назначения традиционно используется в строительной сфере как обшивочный и настилочный материал при производстве зданий и сооружений, а также в качестве опалубки при возведении монолитных домов.

В процессе производства фанеры образуется большое количество отходов, их общая доля отходов может превышать 50 % [1]. Одним из видов отходов являются отходы от форматной обрезки в виде реек шириной, как правило, 2,5...3,5 см, составляющие от 7 до 9 % объема необрезной фанеры в зависимости от формата производимой фанеры [2]. При наличии сопутствующего производства плитных древесных материалов отходы перерабатываются (измельчаются) и направляются для формирования плит или иных композиционных материалов [3]. В противном случае перед фанерными предприятиями стоит задача переработки и утилизации отходов.

Целью данной работы является поиск эффективных путей возвратного использования отходов от форматной обрезки в производстве фанеры. Автором проанализированы известные технические решения по использованию фанерных отходов, предложены конструкции фанерной продукции с внутренними слоями на основе отходов

от форматной обрезки, изготовлены опытные образцы фанеры и исследованы ее основные физико-механические характеристики.

Материалы и методика

Известны различные способы формирования внутреннего слоя фанеры и иных плитных древесных материалов, при производстве которых используются отходы форматной обрезки в виде частиц реек как основа наполнителя облегченных плитных древесных материалов. Весьма эффективна система производства листовых материалов, в которой продольные слои выполнены составными по длине или ширине листов шпона и соединены между собой торцовыми кромками попарно Z-образными клеевыми полосами, а поперечные слои выполнены в виде многослойных форматных обрезков, расположенных вдоль волокон древесины поперечного слоя [4]. Недостатком данного метода являются высокая материалоемкость и низкие показатели тепло- и звукоизоляции.

При другом методе производства древесный материал состоит из склеенных наружных и внутренних слоев, причем каждый внутренний слой выполнен из параллельно размещенных с интер-

валом полос материала и является основанием для следующего слоя, полосы которого размещены под углом к полосам предыдущего. Начиная с третьего внутреннего слоя полосы расположены со смещением относительно полос первого внутреннего слоя [5, 6]. При использовании данного метода снижаются материалоемкость и плотность. Недостатком такого материала является его неоднородность, из-за которой материал по-разному себя ведет в разных условиях эксплуатации (например, при изменении температуры и влажности). В результате возникают различные деформации и напряжения в клеевых слоях.

Известны также строительные материалы в виде стеновых панелей повышенной толщины, внутри которых находятся полые каркасы из форматной фанеры или иных плитных материалов достаточно высокого качества с заполнением полостей теплоизоляционными материалами или без заполнения [7]. Но данные материалы достаточно дороги, так как при их производстве в основном используются полноформатные древесные материалы.

Нами предложены конструкции фанеры с наружными слоями из взаимно перпендикулярных листов форматного лущеного шпона и внутренними слоями, сформированными путем установки на ребро реек, полученных из отходов от форматной обрезки. В качестве клеевого связующего в данном материале целесообразно использовать клей, применяемый в фанере, из которой изготовлены рейки для внутреннего слоя, или иные клеи с учетом их реологических характеристик [8], требуемых клеящих и адгезионных свойств [9, 10]. Поскольку во внутреннем слое рейки поставлены на ребро, их склеивание с поверхностью шпона происходит с повышенной впитываемостью в слоях шпона с торцовыми срезами, поэтому необходимо увеличивать расход клея или его вязкость для обеспечения требуемого расхода в клеевом соединении [11].

При осуществлении экспериментальной части работы были изготовлены образцы фанеры на основе карбамидоформальдегидной смолы КФН-66. В качестве древесного сырья применялся лущеный березовый шпон номинальной толщиной 1,5 мм и рейки шириной и толщиной по 10 мм. Номинальная толщина готовой фанеры составляла 14 мм.

Сборка пакетов фанеры заключалась в подборе и укладке листов шпона и реек внутреннего слоя с разными расстояниями между ними в соответствии с заданной конструкцией (рис. 1). Клей наносился на обе стороны внутренних (четных) слоев шпона и на торцовую поверхность реек. Помимо этих образцов, были изготовлены в качестве эталона образцы фанеры только из форматного шпона.

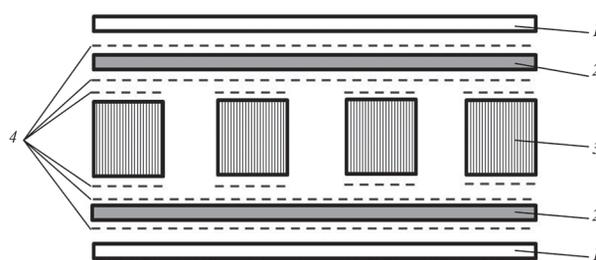


Рис. 1. Конструкция фанеры: 1 — продольные слои шпона; 2 — поперечные слои шпона; 3 — рейки, поставленные на ребро; 4 — клеевые швы

Fig. 1. Construction of plywood: 1 — longitudinal layers of veneer; 2 — transverse layers of veneer; 3 — laths put on an edge; 4 — glued seams

Горячее прессование собранных пакетов осуществлялось в лабораторном гидравлическом прессе при температуре плит 125 °С, удельном давлении прессования 2 МПа, времени выдержки под давлением 7 мин. После выгрузки из пресса и нормализации качества в течение суток был произведен раскрой на образцы для проведения испытаний.

Предел прочности при изгибе оценивался по ГОСТ 9625–2013, предел прочности при скалывании по клеевому слою — по ГОСТ 9624–2009. Для оценки предела прочности при изгибе вдоль волокон наружных слоев были изготовлены образцы шириной от 50 до 60 мм таким образом, чтобы в поперечном сечении оказалось не менее двух реек во внутреннем слое. Предел прочности при изгибе поперек волокон наружных слоев оценивался на образцах длиной 250 мм и шириной 50 мм. Внешний вид образцов представлен на рис. 2.

Для оценки предела прочности при скалывании по клеевому слою были изготовлены профильные образцы шириной от 30 до 40 мм таким образом, чтобы в плоскости скалывания оказалось не менее двух реек во внутреннем слое. Внешний вид образцов показан на рис. 3.

В таблице представлены сводные физико-механические показатели фанеры с различным зазором между рейками от форматной обрезки во внутреннем слое.

Результаты

Результаты испытаний показали, что при формировании фанеры с внутренними слоями из реек, полученных из отходов от форматной обрезки, происходит некоторое снижение прочности, что обосновано неоднородностью внутреннего заполнения и наличием зазоров. Однако предел прочности при изгибе вдоль волокон у всех образцов превышает нормированное значение по ГОСТ 3916.1–96. Важным моментом является то, что конструкция такой фанеры позволяет снизить ее плотность.

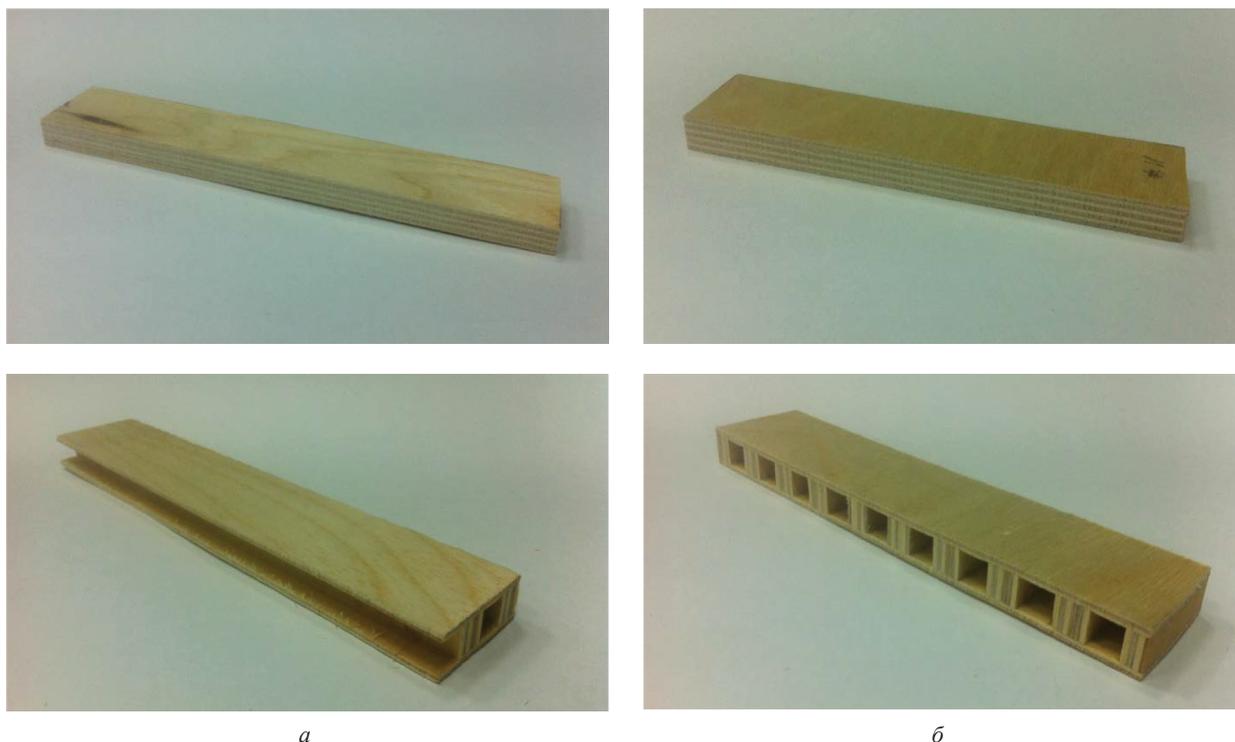


Рис. 2. Внешний вид образцов для определения предела прочности при изгибе: *a* — вдоль волокон; *б* — поперек волокон
Fig. 2. Appearance of the samples for determining the flexural strength: *a* — along the fibers; *б* — across the fibers

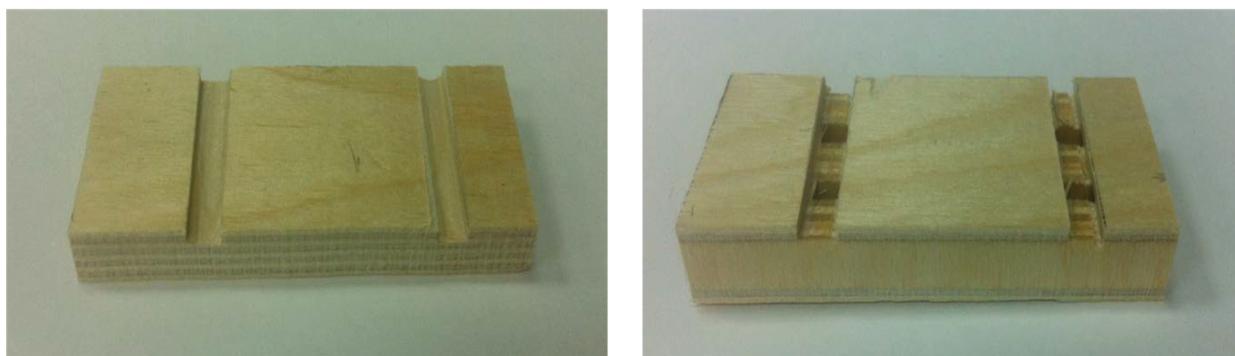


Рис. 3. Внешний вид образцов для определения предела прочности при скалывании по клеевому слою
Fig. 3. Appearance of the samples for determining the ultimate strength at shearing along the adhesive layer

Т а б л и ц а

Физико-механические свойства фанеры
Physical and mechanical properties of plywood

Вид фанеры	Расстояние между рейками, мм	Фактическая плотность, кг/м ³	Предел прочности при изгибе, МПа		Предел прочности при скалывании, МПа	
			вдоль волокон	поперек волокон	в сухом виде	после 24 ч вымачивания
Фанера общего назначения	–	711	112,2	68,9	4,36	2,43
Фанера с внутренним слоем из реек	0	688	102,1	35,2	2,68	1,73
	0,5	527	63,1	25,1	2,58	1,66
	1,0	465	42,1	19,3	2,64	1,71
	1,5	420	32,1	14,0	2,57	1,6
	2,0	395	28,6	11,3	2,52	1,67

Таким образом, предложенный вариант производства фанеры с внутренним заполнением на основе отходов от форматной обрезки позволяет эффективно утилизировать и перерабатывать отходы фанерного производства с выпуском конструкционного материала, уменьшить материалоемкость производства фанеры за счет снижения расхода лущеного шпона и клеевых материалов, снизить себестоимость выпускаемой фанерной продукции.

Список литературы

- [1] Волинский В.Н. Технология клееных материалов. Архангельск: АГТУ, 2003. 280 с.
- [2] Волков А.В. Справочник фанерщика. СПб.: СПбПУ, 2010. 486 с.
- [3] Угрюмов С.А., Смирнов Д.А. Организация технологического процесса производства композиционной фанеры // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2006. № 3. С. 123–126.
- [4] Система производства листовых материалов при утилизации отходов форматных обрезков: Пат. 2005107906/22 RU, МПК C09J3/16 / И.В. Беккер, С.В. Андрияхин; заявитель и патентообладатель И.В. Беккер, С.В. Андрияхин; заявл. 22.03.2005, опубл. 27.05.2006, бюл. № 15. 6 с.
- [5] Слоистый древесный материал: Пат. 2003135692/03 RU, МПК C09J3/16 / В.Г. Савенко, А.А. Лукаш; заявитель и патентообладатель Брянская государственная инженерно-технологическая академия; заявл. 08.12.2003, опубл. 27.05.2005, бюл. № 15. 5 с.
- [6] Лукаш А.А. Технология новых клееных материалов. СПб.: Лань, 2014. 304 с.
- [7] Зубарев Г.Н. Конструкции из дерева и пластмасс. М.: Высшая школа, 1990. 287 с.
- [8] Borodulin A.S., Malysheva G.V., Romanova I.K. Optimization of rheological properties of binders used in vacuum assisted resin transfer molding of fiberglass // Polymer Science. Series D, 2015, v. 8., no. 4, pp. 300–303.
- [9] Malysheva G.V. Predicting the endurance of adhesive joints // Polymer Science. Series D, 2014, v. 7, no. 2, pp. 145–147.
- [10] Малышева Г.В. Физическая химия адгезивных материалов // Материаловедение, 2005. № 6. С. 38–40.
- [11] Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., Malysheva G.V. Capillary hydrodynamics of oligomer binders // Polymer Science. Series D, 2016, v. 9, no. 3, pp. 322–325.

Сведения об авторах

Угрюмов Сергей Алексеевич — д-р техн. наук, профессор, кафедра деревообрабатывающих производств Поволжского государственного технологического университета, ugr-s@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 20.06.2017 г.

STUDY OF STRENGTH PROPERTIES OF PLYWOOD WITH AN INTERNAL FILLING ON THE BASIS OF WASTE

S.A. Ugryumov

Volga State University of Technology, 424000, Yoshkar-Ola, Lenin sq., 3, PSTU

ugr-s@yandex.ru

Large quantities of waste, including waste from trimming in the form of strips of plywood with a width of 2,5...3,5 cm, of the components depending on the format of the original plywood 7...9 % In plywood production are generated inevitably. These wastes can be used in the formation of the inner layer of plywood. The paper analyzes the known technical solutions for the recycling of plywood production, proposes design of plywood products with internal layers on the basis of waste of plywood prototypes in plywood and investigates its basic strength characteristics. To assess the strength the characteristics were determined using standard techniques, an evaluation of tensile strength at bending along fibres of the outer layers and for the evaluation of ultimate strength in shearing adhesive layer the samples were manufactured so that in cross section appeared to be at least two strips of plywood in the inner layer. The experimental results showed that the formation of shell layers from the waste of plywood, there is some decrease in strength due to their internal heterogeneity of the fill and the presence of gaps. However, the tensile strength at bending along fibres in all samples exceeds the normalized value according to GOST 3916.1-96. The important point is that the design of this plywood allows it to reduce its density. With the production of plywood with an internal filling on the basis of wastes from crop format allows to utilize and recycle waste forming plywood production with the release of the construction material, to reduce materials consumption for the production of plywood by reducing the consumption of veneer sheets and flow of the adhesive materials to reduce production costs of plywood production.

Keywords: plywood, rotary cut veneer, waste from trimming aspect, strips of plywood, bonding, strength, density

Suggested citation: Ugryumov S.A. *Issledovanie prochnostnykh svoystv fanery s vnutrennim zapolneniem na osnove otkhodov ot formatnoy obrezki* [Study of strength properties of plywood with an internal filling on the basis of waste]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 42–46.

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-42-46

References

- [1] Volynskiy V.N. *Tekhnologiya kleenykh materialov* [Technology of glued materials]. Arkhangel'sk: AGTU, 2003. 280 p.
- [2] Volkov A.V. *Spravochnik fanershchika* [Handbook of manufacturer of plywood]. Spb.: Publishing house of Polytechnical university, 2010. 486 p.
- [3] Ugryumov S.A., Smirnov D.A. *Organizatsiya tekhnologicheskogo protsessa proizvodstva kompozitsionnoy fanery* [Organization of the technological process of production of composite plywood] *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2006, no. 3, pp. 123–126.
- [4] *Sistema proizvodstva listovykh materialov pri utilizatsii otkhodov formatnykh obrezkov* [System of production of sheet materials for waste disposal formatted scraps] Pat. № 2005107906/22 RU, MPK S09J3/16. I.V. Bekker, S.V. Andriyakhin; appl. 22.03.2005, publ. 27.05.2006, bull. no. 15, 6 p.
- [5] *Sloisty drevsnyy material* [Layered wood material] Pat. № 2003135692/03 RU, MPK S09J3/16. V.G. Savenko, A.A. Lukash; appl. 08.12.2003, publ. 27.05.2005, bull. no. 15, 5 p.
- [6] Lukash A.A. *Tekhnologiya novykh kleenykh materialov* [Technology of new laminated materials]. Spb.: Lan', 2014, 304 p.
- [7] Zubarev G.N. *Konstruktsii iz dereva i plastmass* [Construction of wood and plastics]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 1990, 287 p.
- [8] Borodulin A.S., Malysheva G.V., Romanova I.K. Optimization of rheological properties of binders used in vacuum assisted resin transfer molding of fiberglass. *Polymer Science. Series D*, 2015, v. 8, no. 4, pp. 300–303.
- [9] Malysheva G.V. Predicting the endurance of adhesive joints. *Polymer Science. Series D*, 2014, v. 7, no. 2, pp. 145–147.
- [10] Malysheva G.V. *Fizicheskaya khimiya adgezivnykh materialov* [Physical chemistry of adhesives]. *Materialovedenie [Materials]*, 2005, no. 6, pp. 38–40.
- [11] Nelyub V.A., Borodulin A.S., Kobets L.P., Malysheva G.V. Capillary hydrodynamics of oligomer binders. *Polymer Science. Series D*, 2016, v. 9, no. 3, pp. 322–325.

Author's information

Ugryumov Sergey Alekseevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of wood processing industry of Volga State University of Technology, ugr-s@yandex.ru

Received 20.06.2017

ПАРАМЕТРЫ КОЛЕБАНИЙ СТВОЛА БЕРЕЗЫ ПРИ ТРЕЛЕВКЕ

Г.А. Иванов, А.А. Котов

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

kotov@mgul.ac.ru

При продольном перемещении (трелевке) древесины с полуприподнятыми стволами последние совершают поперечные колебания вследствие неровностей дороги. Колебания влияют на нагруженность специальных лесных машин, выполняющих трелевку. Целью исследований является разработка теоретических положений с их экспериментальным подтверждением, направленных на повышение точности расчетов и прогнозирование ситуаций при выполнении рабочих операций на лесозаготовках. Рациональный выбор проектных параметров технологического оборудования лесных машин возможен в том случае, если в расчетах на прочность будут использованы теоретически и экспериментально обоснованные значения технологических сил. Эффективное использование тяговых возможностей и обеспечение управляемости движения лесных машин при выполнении технологических операций, связанных с продольными перемещениями полуприподнятого ствола, возможно только с учетом теоретических положений, объясняющих изменения технологических сил на рабочих органах технологического оборудования. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на увеличение числа учитываемых при моделировании факторов. Динамическую систему, выполняющую рабочие операции по продольному перемещению полуприподнятого ствола, представляют как механическую колебательную, к которой приложены силовые и кинематические воздействия. Для решения задачи считают, что равновесие упругой линии ствола, находящегося в состоянии покоя, периодически нарушается внезапно прикладываемыми к упругой линии и тотчас же удаляемыми поперечно действующими силами. При колебаниях ствола прогиб его упругой линии есть функция двух переменных — координаты и времени. Для нахождения первого члена ряда, соответствующего первой основной форме колебаний, применяют метод Рэлея. При нормальных колебаниях каждая точка упругой линии ствола совершает простое гармоническое колебание с постоянными амплитудой и фазой. Получено выражение частоты основного тона колебания полуприподнятого ствола, перемещаемого за комель, с учетом его формы. Выполнены экспериментальные исследования поперечных колебаний полуприподнятых стволов березы. Определены параметры этих колебаний, в том числе частота.

Ключевые слова: ствол дерева, трелевка, форма колебаний, частота колебаний, эксперимент, амплитуда

Ссылка для цитирования: Иванов Г.А., Котов А.А. Параметры колебаний ствола березы при трелевке // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 47–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-47-52

Основную часть лесозаготовительного процесса составляют рабочие операции, связанные с продольными перемещениями полуприподнятого ствола. Многообразие условий эксплуатации и видов выполняемых работ лесопромышленным оборудованием требует отдельных направлений теории лесных машин, которые связаны с понятием математической модели. Однако любая специальная лесная машина при достаточно подробном описании позволяет разработать инвариантные математические модели для различных случаев функционирования. При этом следует иметь в виду, что математическая модель строится на основании моделей процессов [1].

Рациональный выбор проектных параметров технологического оборудования лесных машин возможен лишь в том случае, если в расчетах их деталей на прочность будут использованы теоретически обоснованные значения технологических сил. Реальное увеличение производительности, эффективное использование тяговых возможностей рабочих органов машин и обеспечение управляемости движения лесных машин при выполнении переместительных и ряда технологических операций, связанных с продольными перемещениями полуприподнятого ствола, может быть реали-

зовано только с учетом теоретических положений, объясняющих изменения технологических сил на элементах рабочих органов различных типов технологического оборудования. Поэтому актуальными являются исследования и разработка теоретических положений, направленные на повышение точности расчетов и прогнозирование ситуаций при выполнении рабочих операций на лесозаготовках путем включения базовых констант, определяющих предмет труда и характер его взаимодействия с рабочими органами технологического оборудования, а также путем увеличения числа учитываемых при моделировании факторов.

Любую динамическую систему, выполняющую рабочие операции по продольному перемещению полуприподнятого ствола, можно представить как механическую колебательную, к которой приложены силовые и кинематические воздействия.

Задача по оценке колебаний полностью погруженных хлыстов вполне исчерпывающе решена в работах [2, 3]. Поэтому проведем исследование колебаний полуприподнятого ствола относительно положения равновесия в ситуации покоя, хотя известны работы, в которых рассматриваются колебания подобного вида [4–9]. Рассмотрение именно

этих колебаний обусловлено тем, что, во-первых, в работах [4, 7] представлены только экспериментальные данные по колебаниям хлыстов, во-вторых, в работах [2, 3] хлыст переменного сечения заменяется набором сосредоточенных масс, а длина поднятой части находится по эмпирическим формулам, не учитывающим форму ствола. В работе [8] хлыст переменного сечения представлен ступенчатым стержнем, состоящим из цилиндрических отрезков постоянного сечения равной длины. В работе [9] хлыст аппроксимируется конусом, а изогнутая ось представлена синусоидальной кривой, что нарушает граничные условия.

Материалы и методика

Исследуемый предмет труда имеет всюду переменный продольный профиль, и распределение плотности вдоль оси ствола может быть переменным, например, у хвойных пород деревьев; модули упругости у разных пород также разные.

Для решения задачи, согласно [10, 11], примем, что равновесие упругой линии полуприподнятого ствола, находящегося в ситуации покоя, нарушено тем, что к упругой линии внезапно прикладываются и тотчас же удаляются поперечно действующие силы. В этом случае ствол начинает колебаться около своего положения равновесия. Обозначим через y прогиб упругой линии в сечении x , но уже в момент времени t . Таким образом, при колебаниях ствола прогиб y есть функция двух переменных — координаты x и времени t . Тогда частная производная $\partial^2 y / \partial t^2$ будет определять в момент времени t направленное от оси Ox ускорение элемента ствола dx , расположенного на расстоянии x от начала координат. Для того чтобы элементу длины dx сообщить это ускорение, требуется приложить направленную от оси Ox силу величиной $p = -\rho A dx \partial^2 y / \partial t^2$, где ρ — средняя плотность древесины, A — площадь поперечного сечения ствола.

Так как при свободных колебаниях возмущающая сила отсутствует, можно получить дифференциальное уравнение динамического изгиба ствола с непрерывно распределенными массами, используя дифференциальное уравнение изогнутой оси ствола в форме

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \right) + \rho A \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \quad (1)$$

Зависимость (1) представляет собой уравнение свободных колебаний полуприподнятого ствола. Для его решения применим к нему метод разделения переменных Фурье, полагая при этом $y(x, t) = T(t)X(x)$. После подстановки $y(x, t)$ в (1) и соответствующего преобразования для функций $T(t)$ и $X(x)$ получаем обыкновенные дифференциальные уравнения:

$$\ddot{T} + \omega^2 T = 0; \quad (2)$$

$$(EIX''')'' - \omega^2 \rho AX = 0. \quad (3)$$

Общий интеграл уравнения (2) будет

$$T = A \sin(\omega t) + B \cos(\omega t). \quad (4)$$

Отсюда видно, что ω представляет собою круговую частоту свободных колебаний полуприподнятого ствола.

Нумеруя собственные частоты в порядке возрастания так, что $\omega_1 < \omega_2 < \omega_3 < \dots$, получим для каждой собственной частоты ω_k из этого ряда соответствующую частную форму колебаний $X_k(x)$, удовлетворяющую уравнению (3) при $\omega = \omega_k$, а именно

$$(EIX_k''')'' - \omega_k^2 \rho AX_k = 0. \quad (5)$$

Ввиду того что жесткость упругой линии ствола и неравномерно распределенная вдоль ствола масса зависят от координаты x , ряд частот нормальных колебаний существует, но их нельзя отыскать с помощью точного интегрирования уравнения (3). Поэтому для нахождения первого члена ряда, соответствующего первой основной форме колебаний, применим метод Рэлея, согласно которому первая основная частота определяется выражением

$$\omega_1^2 = \frac{\int_0^L q(x) Y(x) dx}{\int_0^L q(x) Y(x)^2 dx}. \quad (6)$$

Здесь $Y(x)$ — прогиб ствола дерева под действием нагрузки $q(x)$.

При нормальных колебаниях каждая точка упругой линии ствола совершает простое гармоническое колебание с постоянными амплитудой и фазой:

$$y = Y_n \sin(\omega_n t - \omega_n),$$

где Y_n — переменная, зависящая только от x ; ω_n и ω_n — постоянные величины;

Y_n определяет n -ю форму нормального колебания, подчиняется тем же граничным условиям на концах, что и y , и представляет собой действительный прогиб оси ствола, когда ствол находится в одном из крайних положений колебания.

Для получения кривой прогиба используем уравнение

$$\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(EI(x) \frac{\partial^2 y(x)}{\partial x^2} \right) = q(x). \quad (7)$$

Неравномерно распределенная при переменной вдоль ствола плотности нагрузка получена в [7], а момент инерции поперечного сечения определяется формулой $I(x) = \pi(a(Lc - x)^\mu)^4 / 4$, где $a(Lc - x)^\mu$ —

радиус поперечного сечения ствола на расстоянии x от комля. Введем константу жесткости ствола $d = E\pi a^4/4$ и новую переменную $z = Lc - x$, тогда жесткость ствола будет иметь вид $EI(z) = dz^{4\mu}$. Дополнительно понизим порядок дифференциального уравнения

$$\frac{d^2}{dz^2} y(z) = \psi(z).$$

Получим уравнение упругой линии ствола

$$y(z) = V_1 z^{2\mu} K^{-4\mu+4} + c_1 O_1 z^{-4\mu+2} + c_2 N_1 z^{-4\mu+3} + c_3 z + c_4, \quad (8)$$

$$\text{где } V_1 = \frac{d_1}{(2\mu_K - 4\mu + 4)(2\mu_K - 4\mu + 3)};$$

$$N_1 = \frac{1}{(4\mu - 2)(4\mu - 3)}.$$

Для поиска постоянных интегрирования c_1, c_2, c_3 и c_4 воспользуемся краевыми условиями. После двойного дифференцирования уравнения (8) и соответствующей подстановки краевых условий получим систему из четырех уравнений, из которой находим постоянные интегрирования:

$$c_1 = \frac{\left[(Lc - L)^{-4\mu+3} N_1 - L(Lc - L)^{-4\mu+2} S - Lc^{-4m+3} N_1 \right] Lc^{2\mu} K^{-1} d_1 + \left[-(Lc - L)^{-4\mu+3} N_1 + L(Lc - L)^{-4\mu+2} S + Lc^{-4\mu+3} N_1 \right] Lc^{-1} + \left[-(Lc - L)^{2\mu} K^{-4\mu+4} V_1 - \frac{L(Lc - L)^{2\mu} K^{-4\mu+3} d_1}{2\mu K^{-4\mu+3}} + Lc^{2\mu} K^{-4\mu+4} V_1 \right]}{\left[(Lc - L)^{-4\mu+2} O_1 - L(Lc - L)^{-4\mu+1} T - Lc^{-4\mu+2} O_1 \right]}$$

$$c_2 = \frac{\left[-(Lc - L)^{-4m+2} O_1 + L(Lc - L)^{-4m+1} T + Lc^{-4m+2} O_1 \right] Lc^{2m} K^{-2} d_1 + \left[(Lc - L)^{2\mu} K^{-4\mu+4} V_1 + \frac{L(Lc - L)^{2\mu} K^{-4\mu+3} d_1}{2\mu K^{-4\mu+3}} - Lc^{2\mu} K^{-4\mu+4} V_1 \right]}{\left[(Lc - L)^{-4\mu+2} O_1 - L(Lc - L)^{-4\mu+1} T - Lc^{-4\mu+2} O_1 \right] Lc},$$

$$c_3 = -\frac{(Lc - L)^{2m} K^{-4m+3} d_1}{2m K^{-4m+3}} + (Lc - L)^{-4m+1} T c_1 + (Lc - L)^{-4m+2} S c_2,$$

$$c_4 = -V_1 Lc^{2\mu} K^{-4\mu+4} - Lc^{-4\mu+2} O_1 c_1 - Lc^{-4\mu+3} N_1 c_2 - c_3 Lc,$$

$$\text{где } O_1 = \frac{1}{(4\mu - 1)(4\mu - 2)}; \quad S = \frac{1}{(4\mu - 2)};$$

$$T = \frac{1}{(4\mu - 1)}.$$

Возвращаясь в уравнении (8) к исходной переменной x , получим уравнение изогнутой части ствола, которое в нашем случае определяет первую нормальную форму колебания

$$Y_1(x) = V_1 (Lc - x)^{2\mu} K^{-4\mu+4} + c_1 O_1 (Lc - x)^{-4\mu+2} + c_2 N_1 (Lc - x)^{-4\mu+3} + c_3 (Lc - x) + c_4. \quad (9)$$

Подставляя $Y_1(x)$ из (9) в уравнение (6), находим частоту основного тона колебания полуприподнятого ствола, перемещаемого за комель.

Для определения частоты колебаний стволов березы при имитации их продольного перемещения в полуприподнятом положении выполнены

Параметры колебаний стволов березы
The parameters of the oscillations

Параметры	Номер ствола березы							
	1				2			
Номер периода колебаний n	1	2	3	4	1	2	3	4
Период колебаний T , с	—	0,60	0,60	0,56	—	0,52	0,52	0,44
Частота колебаний f , Гц	—	1,67	1,67	1,79	—	1,92	1,92	2,27
Амплитуда колебаний A , мм	109	73	55	43	72	42	19	12
Логарифмический декремент колебания δ	—	0,401	0,283	0,246	—	0,539	0,793	0,460
Максимальная скорость (экспериментальная) V , м/с	1,70	0,93	0,63	0,62	0,90	0,75	0,16	0,15
Максимальное ускорение (аппроксимированное) a , м/с ²	12,3	9,0	6,7	4,9	11,7	6,6	3,7	2,0

экспериментальные исследования. Для этого использованы два ствола свежесрубленной березы. Диаметр ствола в центре пролета у березы № 1 равен 60 мм, у березы № 2 — 54 мм. Стволы устанавливали комлем на опору, а вершина оставалась на земле. Затем к центру пролета ствола прикрепляли на гибкой нити груз: для березы № 1 массой 20 кг, а для березы № 2 — 10 кг. Происходил статический прогиб ствола. Величина пролета без нагрузки 4 м, высота опоры 0,8 м. Далее нить обрезали и ствол совершал затухающие поперечные колебания. Колебания записывали на видео на фоне планшета. Проводили разделение записи на кадры с временным шагом 0,04 с и их расшифровку. На основании результатов исследования построен график зависимости амплитуды колебаний точки подвеса груза от времени (рис. 1) [12]. Параметры колебаний стволов представлены в таблице.

Методом графического дифференцирования построен график зависимости изменения скорости колебаний центра пролета ствола от времени (рис. 2).

После двукратного дифференцирования уравнения затухающих колебаний произвольной точки ствола [12]

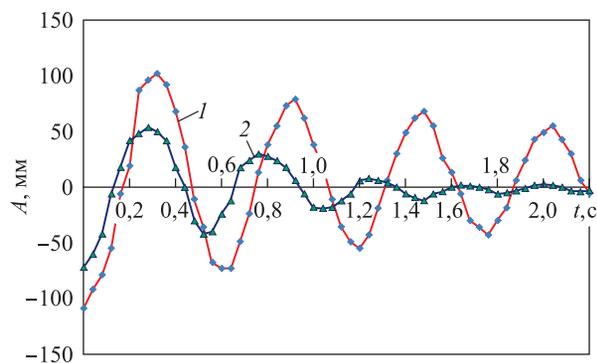


Рис. 1. График колебаний березы (экспериментальные кривые): 1 — ствол № 1; 2 — ствол № 2

Fig. 1. The graph of fluctuation of birch (experimental curves): 1 — the trunk of tree no. 1; 2 — the trunk of tree no. 2

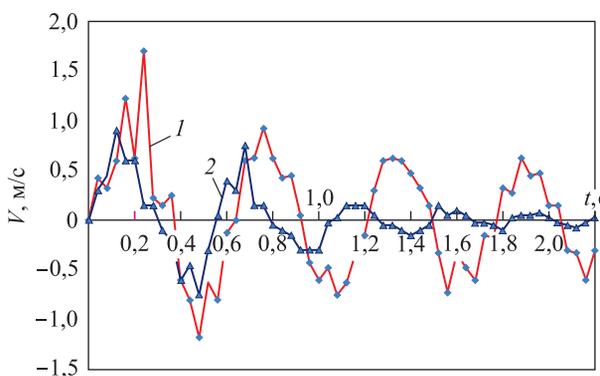


Рис. 2. Зависимость изменений скорости колебаний березы от времени (экспериментальные кривые): 1 — ствол № 1; 2 — ствол № 2

Fig. 2. Dependence of speed fluctuation changes of birch (experimental curves): 1 — the trunk of tree no. 1; 2 — the trunk of tree no. 2

$$y = A_0 e^{-\delta t} \cos(\omega t)$$

получено выражение для определения ускорения данной точки:

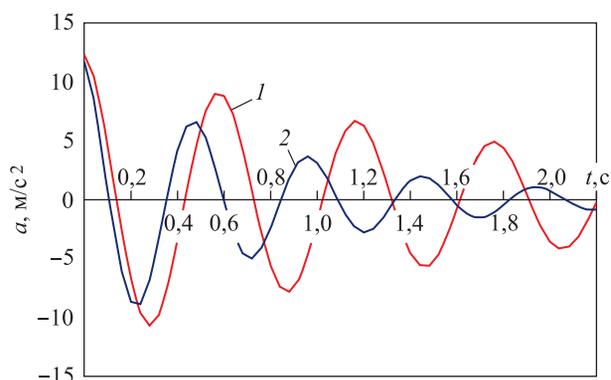


Рис. 3. График изменения ускорения березы (аппроксимированные кривые): 1 — ствол № 1; 2 — ствол № 2

Fig. 3. The graph of change of acceleration of birch (approximated curves): 1 — the trunk of tree no. 1; 2 — the trunk of tree no. 2

$$y'' = a = -A_0 e^{-\delta t} (\omega^2 \cos(\omega t) - \delta^2 f^2 \cos(\omega t) - 2' f \omega \sin(\omega t)). \quad (10)$$

На основании этого уравнения построен график изменения ускорения указанной точки (рис. 3). В связи с тем, что параметры колебаний берез изменяются в процессе колебаний (в частности, уменьшается период колебаний), нами приняты их средние значения: для березы № 1: $T = 0,59$ с, $\delta = 0,31$; для березы № 2: $T = 0,49$ с, $\delta = 0,60$.

Результаты

Полученные значения круговой частоты колебаний и ускорения точек ствола позволят более точно рассчитывать технологические силы при работе специальных лесных машин и учитывать их при проектировании.

Список литературы

[1] Иванов Г.А. Собственные колебания первой формы полуприподнятых стволов деревьев в продольном перемещении // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2002. № 2. С. 168–174.
 [2] Гастев Б.Г., Мельников В.И. Основы динамики лесовозного подвижного состава. М.: Лесная пром-сть, 1967. 219 с.
 [3] Жуков А.В. О выборе расчетной модели погруженных деревьев при исследовании колебаний лесных машин // Лесной журнал, 1977. Вып. 101. № 4. С. 75–80.
 [4] Библюк Н.И., Перетятко Б.Т. Экспериментальное исследование собственных частот хлыста как предмета

транспортирования // Лесное хозяйство, лесная, бумажная и деревообрабатывающая промышленность. Вып. 3. Киев: Будівельник, 1974. С. 64–69.
 [5] Билык Б.В., Перетятко Б.Т. К вопросу о выборе расчетной схемы пакета хлыстов при исследовании вертикальных колебаний трелевочных тракторов // Лесной журнал, 1975. № 5. С. 40–46.
 [6] Варава В.И., Ведерников О.М. Моделирование хлыстов и их подвеса при трелевке в полупогруженном положении // Лесной журнал, 1991. № 3. С. 29–35.
 [7] Симанович В.А. Исследование свободных колебаний деревьев при различных конструкциях подвеса // Механизация лесоразработок и транспорт леса. Вып. 14. Минск: Вышэйшая школа, 1984. С. 115–118.
 [8] Смехов С.Н. О взаимосвязи колебаний хлыстов, перевозимых в полупогруженном (полуподвешенном) положении, и сопротивления их перемещению // Тр. ЦНИИМЭ. Вып. 106: Сб. статей Иркутского филиала ЦНИИМЭ. Химки, 1970. С. 14–26.
 [9] Эмайкин Л.М. О параметрическом возбуждении в системе гусеничный трактор-полупогруженное дерево // Тр. ЦНИИМЭ. Вып. 101: Вопросы механизации лесозаготовок. Химки, ЦНИИМЭ, 1969. С. 52–59.
 [10] Работнов Ю.Н. Механика деформируемого твердого тела. М.: Наука, 1988. 712 с.
 [11] Саусвелл Р.В. Введение в теорию упругости. Для инженеров и физиков. М.: Иностранная литература, 1948. 674 с.
 [12] Котов А.А. Экспериментальные исследования параметров колебаний древесных растений // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2013. № 5. С. 196–199.
 [13] Феодосьев В.И. Избранные задачи и вопросы по сопротивлению материалов. М.: Наука, 1996. 368 с.
 [14] Пановко Я.Г., Губанова И.И. Устойчивость и колебания упругих систем: Современные концепции, ошибки и парадоксы. М.: Наука, 1979. 384 с.

Сведения об авторах

Иванов Геннадий Алексеевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ivanovga@mgul.ac.ru

Котов Алексей Александрович — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kotov@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 16.06.2017 г.

THE PARAMETERS OF THE OSCILLATIONS OF THE BIRCH TREE WHILE SKIDDING

G.A. Ivanov, A.A. Kotov

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

kotov@mgul.ac.ru

During longitudinal movement (skidding) of wood with raised tree trunks, they make transverse vibrations due to irregularities of the road. Fluctuations affect the loading of special forest machines performing the skidding. The aim of the research is development of theoretical positions with their experimental confirmation aimed at improving the accuracy of calculations and prediction of situations in the performance of work in logging operations. Rational choice of design parameters of technological equipment forestry machines is possible only if the strength calculations will be used both theoretically and experimentally reasonable values technological forces. Efficient use of traction capabilities and control of forest machines during the execution of technological operations associated with the longitudinal displacements raised tree trunks, is possible only taking into account theoretical positions explaining the changes in technological forces in the working bodies of technological equipment. So pressing is the problem of research aimed at increasing the numbers taken into account when modeling factors. A dynamic system that performs operations on longitudinal movement of the tree trunk, imagine how the mechanical oscillation attached to it the force and kinematic effects. To solve the problem it is believed that the balance of the elastic line of the tree trunk being at rest, periodically disturbed suddenly applied to an elastic line and immediately removed transversely acting forces. When vibration of the tree trunk, the deflection of the elastic curve is a function of two variables — the coordinates and time. For finding the first member of the series corresponding to the first basic form of vibrations was used the method of Rayleigh. Under normal oscillations of each point of the elastic line of the trunk performs a simple harmonic oscillation with constant amplitude and phase. The obtained expression of the fundamental frequency of oscillation of the trunk of a tree given its form, roaming in the butt. Experimental study of transverse vibrations of raised trunks of birch. The parameters of these oscillations including the frequency are obtained.

Keywords: the trunk of the tree, skidding, mode shape, frequency, experiment, amplitude

Suggested citation: Ivanov G.A., Kotov A.A. *Parametry kolebaniy stvola berezy pri trelevke* [The parameters of the oscillations of the birch tree while skidding]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 47–52. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-47-52

References

- [1] Ivanov G.A. *Sobstvennyye kolebaniya pervoy formy polupripodnyatykh stvolov derev'ev v prodol'nom peremeshchenii* [Fluctuations of the first form raised tree trunks in the longitudinal movement] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2002, no. 2, pp. 168–174.
- [2] Gastev B.G., Mel'nikov B.G. *Osnovy dinamiki lesovoznogo podvizhnogo sostava* [Bases of dynamics of hauling rolling stock]. Moscow: *Lesnaya promyshlennost'* [The forest industry], 1967, 219 p.
- [3] Zhukov A.V. *O vybere raschetnoy modeli pogruzhennykh derev'ev pri issledovanii kolebaniy lesnykh mashin* [About the choice of settlement model of the loaded trees in the study of fluctuations of forest machines] *Lesnoy zhurnal* [Forest magazine], 1977, v. 101, no. 4, pp. 75–80.
- [4] Biblyuk N.I., Peretyatko B.T. *Ekspymental'noye issledovanie sobstvennykh chastot khlysta kak predmeta transportirovaniya* [Experimental study of natural frequencies of the whip as an item of transportation] *Lesnoe khozyaystvo, lesnaya, bumazhnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Forestry, forest, paper and woodworking industry]. Kiev: *Budivelnik* [Builder], 1974, no. 3, pp. 64–69.
- [5] Bilyk B.V., Peretyatko B.T. *K voprosu o vybere raschetnoy skhemy paketa khlystov pri issledovanii vertikal'nykh kolebaniy trelevochnykh traktorov* [The question of the computation diagram of a package of whips in the study of the vertical oscillations skidder] *Lesnoy zhurnal* [Forest magazine], 1975, no. 5, pp. 40–46.
- [6] Varava V.I., Vedernikov O.M. *Modelirovaniye khlystov i ikh podvesa pri trelevke v polupogruzhennom polozenii* [Modeling the whips and their suspension when hauling in a half-shipped position] *Lesnoy zhurnal* [Forest magazine], 1991, no. 3, pp. 29–35.
- [7] Simanovich V.A. *Issledovanie svobodnykh kolebaniy derev'ev pri razlichnykh kon-struktsiyakh podvesa* [The study of free oscillations of the trees with different designs of suspension] *Mekhanizatsiya lesorazrabotok i transport lesa* [Mechanization of logging and transport of forest], v. 14. Minsk: *Vysheyshaya shkola* [High school], 1984, pp. 115–118.
- [8] Smekhov S.N. *O vzaimosvyazi kolebaniy khlystov, perevozimykh v polupogruzhennom (po-lupodveshennom) polozenii, i soprotivleniya ikh peremeshcheniyu* [On the relationship between the vibrations of the whips carried in half-sunk (polupedestalom) position and resistance move] *Trudy TsNIIME. Sbornik statey Irkutskogo filiala TsNIIME* [Works TsNIIME. Collection of articles of the Irkutsk branch TsNIIME], v. 106. Khimki: TsNIIME, 1970, pp. 14–26.
- [9] Emaykin L.M. *O parametricheskom vzbuzhdenii v sisteme gusenichnyy traktor-polupogruzhennoe derevo* [On parametric excitation in the system of the crawler tractor-half-shipped tree]. *Trudy TsNIIME. Voprosy mekhanizatsii lesozagotovok* [Works TsNIIME. The issues of mechanization of logging], v. 101. Khimki: TsNIIME, 1969, pp. 52–59.
- [10] Rabotnov Yu.N. *Mekhanika deformiruemogo tverdogo tela* [Mechanics of deformable solids]. Moscow: *Nauka publ.*, 1988, 712 p.
- [11] Sausvell R.V. *Vvedenie v teoriyu uprugosti. Dlya inzhenerov i fizikov* [Introduction to the theory of elasticity. For engineers and physicists]. Moscow: *Gosudarstvennoye izdatel'stvo inostrannoy literatury*, 1948, 674 p.
- [12] Kotov A.A. *Ekspymental'nye issledovaniya parametrov kolebaniy drevesnykh rasteniy* [An experimental study of the parameters of the oscillations of woody plants] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 5, pp. 196–199.
- [13] Feodos'ev V.I. *Izbrannye zadachi i voprosy po soprotivleniyu materialov* [Selected problems and questions in strength of materials]. Moscow: *Nauka publ.*, Fizmatlit, 1996, 368 p.
- [14] Panovko Ya.G., Gubanova I.I. *Ustoychivost' i kolebaniya uprugikh sistem. Sovremennyye kontseptsii, oshibki i paradoksy* [Stability and oscillations of elastic systems: Modern concepts, paradoxes and errors]. Moscow: *Nauka publ.*, 1979, 384 p.

Author's information

Ivanov Gennadiy Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. BMSTU (Mytishchi branch), ivanovga@mgul.ac.ru

Kotov Aleksey Aleksandrovich — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), kotov@mgul.ac.ru

Received 16.06.2017

КОЭФФИЦИЕНТ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНО-ГРУЗОВЫХ ПРОЦЕССОВ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ ПРОИЗВОДСТВ

В.Н. Макеев¹, С.И. Сушков¹, В.Я. Ларионов², Д.М. Левушкин²

¹ Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

² МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

makeev1938@yandex.ru

Эффективность транспортно-грузовых процессов лесопромышленных предприятий складывается из степени удовлетворения спроса местных потребителей в перевозках лесных грузов, эффективности использования имеющегося подвижного состава автомобильного транспорта и эффективности использования погрузочно-разгрузочных машин и механизмов, обслуживающих транспортные средства. На уровне транспортно-грузовых комплексов лесопромышленных предприятий наиболее полно полезность транспортировки лесных грузов отражает коэффициент эффективности транспортно-грузового процесса, представляющий собой отношение затрат, связанных с удовлетворением собственных потребностей в транспортировке лесных грузов, к фактическим затратам. На основании сопоставления фактических затрат с оптимальными определяется степень эффективности одного варианта организации транспортно-грузового процесса лесопромышленного предприятия по сравнению с другими вариантами. Коэффициент эффективности транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств является синтетическим показателем, обладающим большой емкостью и позволяющим оценивать и анализировать влияние условий организации перемещения лесных грузов на эффективность транспортно-грузовых процессов. Оценка эффективности транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств связана с определением их рациональных (оптимальных) значений (параметров) с учетом фактических затрат, связанных с перемещением лесных грузов в пространстве.

Ключевые слова: лесные грузы, транспортировка, коэффициент эффективности, себестоимость, эксплуатационные факторы, лесопромышленное производство

Ссылка для цитирования: Макеев В.Н., Сушков С.И., Ларионов В.Я., Левушкин Д.М. Коэффициент эффективности транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 53–57. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-53-57

Известно, что стоимость подвижного состава не пропорциональна его грузоподъемности [1]. Лесопромышленные предприятия, имеющие различный подвижной состав на вывозке лесных грузов, будут находиться в неравных экономических условиях, т. е. будут иметь различный удельный вес прибыли на один рубль производственных фондов при одних и тех же доходах. В связи с этим рентабельность, определяемая как отношение прибыли к производственным фондам лесопромышленного предприятия, объективно не отражает эффективности работы его транспортно-грузового комплекса.

В современных условиях становления рыночных отношений эффективность транспортно-грузовых процессов лесопромышленных предприятий складывается из следующих составляющих: степени удовлетворения спроса местных потребителей в перевозках лесных грузов, эффективности использования имеющегося подвижного состава автомобильного транспорта и эффективности использования погрузочно-разгрузочных машин и механизмов, обслуживающих транспортные средства. Поэтому совокупность параметров должна состоять из натуральных и стоимостных показателей и эффективности. Натуральные и стоимостные показатели применя-

ются для оценки эффективности использования тягового и прицепного подвижного состава и погрузочно-разгрузочных машин и механизмов, а показатель эффективности отражает наиболее существенные, определяющие, производственные связи и пропорции между транспортно-грузовым комплексом и другими производственными подразделениями лесопромышленного предприятия. При этом для транспортно-грузового комплекса в качестве натурального показателя необходимо применять объем перевозок в (м³) по основной номенклатуре производимых лесных грузов, в качестве стоимостного — себестоимость транспортировки (перевозки) 1 м³ лесного груза (дерева, хлысты, полухлысты, круглые лесоматериалы — сортименты, пиломатериалы и т. п.).

Прибыль транспортно-грузового комплекса лесопромышленного производства определяется как разница между доходами и текущими затратами (расходами), т. е. между доходной ставкой и себестоимостью перевозок, которая выражена уравнением [2]

$$C_{\text{тр}} = \frac{1}{q_a \alpha_r} \left(\frac{E_{\text{нр}}}{\beta_n} + \frac{E_{\text{пс}}}{\beta_n V_{\text{ст}}} + \frac{E_{\text{пс}} t_{\text{нр}}}{L_{\text{тр}}} \right),$$

где $C_{\text{тр}}$ — себестоимость транспортировки лесного груза, руб;

q_a — грузоподъемность автомобиля (автопоезда), транспортирующего лесные грузы, т (m^3);

α_r — коэффициент использования грузоподъемности автомобиля (автопоезда);

$E_{пр}$ — переменные расходы при транспортировке лесных грузов, руб./км;

β_n — коэффициент использования пробега автомобиля (автопоезда);

$E_{пс}$ — постоянные расходы при транспортировке лесных грузов, руб./ч;

$V_{ст}$ — средняя техническая скорость автомобиля (автопоезда), км/ч [3];

$t_{пр}$ — время простоя автомобиля (автопоезда) под погрузкой и разгрузкой за одну езду, ч;

$L_{тр}$ — расстояние транспортировки лесного груза или расстояние ездки автомобиля (автопоезда) с лесным грузом, км.

Характерной особенностью транспортировки лесных грузов является то, что запас сырья относительно бесконечен и затраты на его хранение равны нулю, а грузопотоки лесных грузов имеют одностороннее направление (например, хлысты с лесосеки доставляются на лесной склад для дальнейшей переработки, а круглые лесоматериалы — пиловочник — непосредственно с лесосеки доставляется на лесной склад потребителя).

Рассмотрение всех факторов, оказывающих влияние на эффективность транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств, дает основание для следующего вывода. На уровне транспортно-грузовых комплексов лесопромышленных предприятий наиболее полно полезность транспортировки лесных грузов будет отражать коэффициент эффективности транспортно-грузового процесса, представляющий собой отношение затрат, связанных с удовлетворением собственных потребностей в транспортировке (перевозке) лесных грузов, к фактическим затратам. Ранее при рассмотрении вопросов совершенствования управления транспортно-грузовыми процессами лесопромышленных производств [4] этот коэффициент был определен. Для поставленной задачи он имеет следующий вид:

$$K_3 = \frac{(C_{тр} + C_{пр})Q_p}{(C_{тр} + C_{пр})Q_p + \Delta E_d},$$

где K_3 — коэффициент эффективности транспортно-грузового процесса;

$C_{тр}$ — рациональная (оптимальная) себестоимость транспортирования (перевозки) лесного груза, руб./ m^3 ;

$C_{пр}$ — рациональная (оптимальная) себестоимость погрузочно-разгрузочных работ, руб./ m^3 ;

Q_p — объем работ, выполненных подвижным составом при транспортировке лесных

грузов и погрузочно-разгрузочными машинами и механизмами при их погрузке и разгрузке, m^3 ;

ΔE_d — дополнительные затраты, связанные с несоблюдением графика движения транспортных средств, нерациональным использованием их, повышением себестоимости погрузочно-разгрузочных операций и транспортирования лесных грузов и другими причинами, руб.;

Таким образом, совокупность показателей — объема транспортировки (перевозок) (m^3), себестоимости транспортировки (перемещения) $1 m^3$ и коэффициента эффективности транспортно-грузового процесса — будет не только характеризовать выполненные объемы и себестоимость перевозок лесных грузов транспортно-грузовым комплексом лесопромышленного предприятия, но и показывать, с какой эффективностью удовлетворяются запросы местных потребителей в перевозках лесных грузов транспортными средствами предприятия.

Следовательно, задача измерения эффективности транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств сводится к определению ресурсов, необходимых для достижения цели, поставленной на определенном иерархическом уровне, и к измерению объема использованных ресурсов, выделенных для этой цели [5]. На основании сопоставления фактических затрат с оптимальными можно рассчитать степень эффективности одного варианта организации транспортно-грузового процесса лесопромышленного предприятия по сравнению с другими вариантами (например, планируемыми для повышения эффективности).

Комплексный подход к установлению коэффициента эффективности требует выявления основных факторов, влияющих на эффективность транспортно-грузовых процессов лесопромышленного производства. Достижение основной цели транспорта леса (лесных грузов) — обеспечения максимальной эффективности работы транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия — обусловлено своевременностью доставки лесных грузов к месту назначения, сохранностью их, высокой производительностью работ компонентов транспортно-грузового комплекса и, по возможности, минимальным расстоянием перемещения.

В свою очередь, своевременность транспортировки лесных грузов зависит от транспортных, дорожных, климатических и организационно-технических условий. Сохранность лесных грузов — от расстояния перемещения, дорожных условий (состояние и вид лесовозных дорог и дорог общего пользования), удобства эксплуатации

подвижного состава и его приспособленности к определенному виду лесного груза. Уровень производительности работ связан с грузоподъемностью специализированного подвижного состава, коэффициентами использования грузоподъемности и пробега, средней технической скоростью движения транспортных средств, коэффициентом их технической готовности, временем простоя под погрузочно-разгрузочными операциями, расстоянием транспортировки груза. Минимальное (оптимальное) расстояние транспортировки лесных грузов обусловлено размещением лесосек, промежуточных и основных складов, удаленностью потребителей лесной продукции, состоянием дорог и транспорта.

Синтез основных факторов (параметров), влияющих на условия организации транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств, дает возможность объединить их в группы, которые характеризуются следующими показателями [6, 7]:

1. Объем, характер, партионность, равномерность, срочность перевозок характеризуется грузопотоком, т. е. количеством лесного груза в натуральном выражении, подлежащего транспортировке от места его производства (лесосека) до места потребления (лесной склад) — Q_p , м³/ч, (м³/см).

2. Режим работы подвижного состава, режим работы обслуживающего состава (водителей), вид маршрутов, грузоподъемность, состав транспортно-грузового комплекса, размещение пунктов производства и потребления лесного груза, условия выполнения погрузочно-разгрузочных операций характеризуются себестоимостью погрузочно-разгрузочных работ $C_{пр}$ и себестоимостью транспортировки — $C_{тр}$.

3. Климатические зоны, организация технического обслуживания и текущего ремонта подвижного состава, тип и состояние покрытия дорог, рельеф местности, план и продольный профиль дороги, режим работы тягового состава (автомобилей) характеризуются коэффициентом технической готовности — α_t .

4. Вид лесного груза, условия производства погрузочно-разгрузочных операций, расстояние транспортировки, партионность, время простоя под погрузочно-разгрузочными операциями характеризуются оптимальной грузоподъемностью единицы подвижного состава — q_a , м³ (т).

5. Размещение пунктов производства и потребления лесных грузов, тип дорожного покрытия, прочность искусственных сооружений на дорогах характеризуются оптимальным расстоянием транспортировки, под которым понимается расстояние между пунктами производства и потребления лесных грузов по наименьшему маршруту — $L_{тр}$ (км).

6. Тип и качество дорожного покрытия, состояние и ширина проезжей части дороги, план и продольный профиль дороги, интенсивность движения лесовозного подвижного состава характеризуются средней технической скоростью — $V_{ст}$ (км/ч).

7. Вид лесного груза (деревья, хлысты, полухлысты, сортименты и т. д.), условия производства погрузочно-разгрузочных операций, приспособленность подвижного состава к виду груза, к погрузочно-разгрузочным машинам (механизмам) и к работам, выполняемым ими, временем простоя под погрузочно-разгрузочными операциями — $t_{пр}$ (ч).

8. Мягкость подвески подвижного состава, плавность хода, защита лесных грузов (приспособленность технологического оборудования к различным видам лесных грузов), расстояние транспортировки, тип и состояние дорожного покрытия, план и продольный профиль дороги характеризуются потерей и повреждением лесного груза, %.

Как видно из вышеизложенного, коэффициент эффективности транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств является синтетическим показателем, обладающим большой емкостью. Он позволяет оценивать и анализировать влияние условий организации перемещения лесных грузов на эффективность транспортно-грузовых процессов, учитывать не только эффективность использования специализированного подвижного состава и погрузочно-разгрузочных машин и механизмов, но и количество перевезенного груза, своевременность его доставки, степень его потерь и повреждения при перемещении, рациональность транспортировки, рациональность типа применяемого подвижного состава, выполняющего перемещение (транспортировку) лесных грузов, и другие факторы [8, 9].

Таким образом, оценка эффективности транспортно-грузовых процессов лесопромышленных производств (предприятий) связана с определением рациональных (оптимальных) значений их параметров с учетом фактических затрат, связанных с перемещением лесных грузов в пространстве. Так как эффективность любого транспортно-грузового процесса зависит от многих компонентов и звеньев (факторов) всего транспортно-грузового комплекса лесопромышленного предприятия, то при определении повышения его эффективности необходимо в первую очередь исследовать влияние основных эксплуатационных факторов, таких как: Q_p , q_a , $C_{тр}$, $C_{пр}$, α_t , $V_{ст}$, $L_{тр}$, $t_{пр}$.

Список литературы

- [1] Пильник Ю.Н., Сушков С.И., Арутюнян А.Ю. Методика определения оптимальной структуры парка транспортно-технологических машин // Современные проблемы науки и образования, 2015. № 2; URL: <http://www.science-education.ru/129-22674>
- [2] Сушков С.И., Бурмистрова О.Н., Пильник Ю.Н. Принципы решения задач управления в многоуровневых транспортно-производственных системах лесного комплекса // Фундаментальные исследования, 2015. № 11. Ч. 2. С. 317–321.
- [3] Бурмистрова О.Н., Король С.А. Определение оптимальных скоростей движения лесовозных автопоездов из условия минимизации расхода топлива // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2013. № 1 (93). С. 25–28.
- [4] Setinc Marko, Gradisar Mirko, Tomat Luka Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. Optimization, 2015, v. 64, iss. 3, pp. 687–707.
- [5] Janssen Thomas Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau. Stahlbau, 2015, v. 84, iss. 3, pp. 182–194.
- [6] Hare Warren, Lucet Yves, Rahman Faisal A mixed-integer linear programming model to optimize the vertical alignment considering blocks and side-slopes in road construction. European journal of operational research, 2015, v. 241, iss. 3, pp. 631–641.
- [7] Santos Joao, Ferreira Adelino, Flintsch Gerardo A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework. International journal of pavement engineering, 2015, v. 16, iss. 3, pp. 268–286.
- [8] Liyanage Champika; Villalba-Romero Felix Measuring Success of PPP Transport Projects: A Cross-Case Analysis of Toll Roads. Transport reviews, 2015, v. 35, iss. 2, Special Iss.: SI, pp. 140–161.
- [9] Burdett R., Kozan E., Kenley R. Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction. Engineering optimization, 2015, v. 47, iss. 3, pp. 347–369.

Сведения об авторах

Макеев Виктор Николаевич — канд. техн. наук, доцент, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», makeev1938@yandex.ru

Сушков Сергей Иванович — д-р техн. наук, профессор кафедры промышленного транспорта, строительства и геодезии ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова», s.i.sushkov@mail.ru

Ларионов Владимир Яковлевич — канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного транспорта и строительства (ЛТ-8) МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), transportlesa@mail.ru

Левушкин Дмитрий Михайлович — канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного транспорта и строительства (ЛТ-8) МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), levushkin@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 10.07.2017 г.

THE COEFFICIENT OF EFFICIENCY OF TRANSPORT-FREIGHT OF TIMBER PRODUCTION

V.N. Makeev¹, S.I. Sushkov¹, V.Ya. Larionov², D.M. Levushkin²

¹ Voronezh State Forestry Engineering University Named after G.F. Morozov, 394087, Voronezh, Timiryazev Str., 8

² BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

makeev1938@yandex.ru

The efficiency of transport and cargo processes timber companies is the degree of satisfaction of demand of local customers in the timber transportation, the efficient use of available rolling stock of road transport and efficiency of loading-unloading machines and mechanisms, serving the vehicle. At the level of transport-freight complexes of enterprises of the timber industry more fully the usefulness of the transportation of lumber reflects the efficiency ratio of the transport and cargo process, which is the ratio of costs related to the satisfaction of their own needs in transportation of timber cargoes for the actual costs. Based on comparison of actual cost with the optimal is determined by the degree of efficiency of one variant of the organization of the transport process of cargo of timber industry enterprises with other options. The coefficient of efficiency of transport-freight of timber production is a synthetic indicator, a large capacity, allowing to estimate and analyze the influence of the conditions of the organization moving timber on the efficiency of transport and cargo processes. Evaluation of the effectiveness of transport-freight of timber production is rational (optimal) values of (the parameters) based on the actual costs associated with displacement of forest soils in space.

Keywords: forest products, transportation, efficiency factor, cost, operational factors, forest industry

Suggested citation: Makeev V.N., Sushkov S.I., Larionov V.Ya., Levushkin D.M. *Koeffitsient effektivnosti transportno-gruzovykh protsessov lesopromyshlennykh proizvodstv* [The coefficient of efficiency of transport-freight of timber production]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 53–57.

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-53-57

References

- [1] Pil'nik Yu.N., Sushkov S.I., Arutyunyan A.Yu. *Metodika opredeleniya optimal'noy struktury parka transportno-tekhnologicheskikh mashin* [The Method for determining the optimal fleet structure transport and technological machines] *Modern problems of science and education*, 2015, no. 2. Available at: <http://www.science-education.ru/129-22674>.
- [2] Sushkov S.I., Burmistrova O.N., Pilnik, Y.N. *Printsipy resheniya zadach upravleniya v mnogourovnevnykh transportno-proizvodstvennykh sistemakh lesnogo kompleksa* [Principles of management tasks in a multi-tier transport and production systems forest complex] *Fundamental research*, 2015, no. 11 (part 2), pp. 317–321.
- [3] Burmistrova O.N., Korol S.A. *Opredelenie optimal'nykh skorostey dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov iz usloviya minimizatsii raskhoda topliva* [Determination of optimal speeds logging trucks from the condition of minimizing fuel consumption] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, no. 1 (93), pp. 25–28.
- [4] Setinc Marko, Gradisar Mirko, Tomat Luka *Optimization of a highway project planning using a modified genetic algorithm. Optimization*, 2015, v. 64, iss. 3, pp. 687–707.
- [5] Janssen Thomas *Design and construction in existing contexts: Replacement of the first High Bridge Levensau. Stahlbau*, 2015, v. 84, iss. 3, pp. 182–194.
- [6] Hare Warren, Lucet Yves, Rahman Faisal *A mixed-integer linear programming model to optimize the vertical alignment considering blocks and side-slopes in road construction. European journal of operational research*, 2015, v. 241, iss. 3, pp. 631–641.
- [7] Santos Joao, Ferreira Adelino, Flintsch Gerardo *A life cycle assessment model for pavement management: methodology and computational framework. International journal of pavement engineering*, 2015, v. 16, iss. 3, pp. 268–286.
- [8] Liyanage Champika; Villalba-Romero Felix *Measuring Success of PPP Transport Projects: A Cross-Case Analysis of Toll Roads. Transport reviews*, 2015, v. 35, iss. 2, Special Iss.: SI, pp. 140–161.
- [9] Burdett R., Kozan E., Kenley R. *Block models for improved earthwork allocation planning in linear infrastructure construction. Engineering optimization*, 2015, v. 47, iss. 3, pp. 347–369.

Author's information

Makeev Viktor Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Professor of the Department of Industrial Transport, Construction and Geodesy Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, makeev1938@yandex.ru

Sushkov Sergey Ivanovich — D-r Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Industrial Transport, Construction and Geodesy Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, s.i.sushkov@mail.ru

Larionov Vladimir Yakovlevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Industrial Transport and Construction BMSTU (Mytishchi branch), transportlesa@mail.ru

Levushkin Dmitry Mikhailovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Industrial Transport and Construction BMSTU (Mytishchi branch), levushkin@mgul.ac.ru

Received 10.07.2017

OPTIMISATION OF END TO EDGE BUTT JOINT WITH RESPONSE SURFACE METHODOLOGY: A PRELIMINARY STUDY

Bogdan Bedelean, Sergiu Georgescu

Transilvania University of Brasov, Faculty of Wood Engineering, Str. Universitatii nr. 1, 500068 Brasov, Romania

bedelean@unitbv.ro, sergiu.georgescu@unitbv.ro

One of the most used joints in the construction of furniture is the end to edge butt joint. This type of joint is preferred for the easy of their processing. The effect of heat treatment on the compressive and tensile strength of end to edge butt joint is analysed in this work. Also, it is analysed the optimal dowel length, the distance between dowels and the ratio of dowel penetration in the main part of an end to edge butt joint. The joints were prepared from heat-treated ash (*Fraxinus excelsior*) wood. The length of dowel has a bigger influence on compressive and tensile strength of joints than the distance between dowels and the ratio of dowel penetration in the main part of joint. An optimal solution to place the dowels is suggested for the joints made of heat-treated wood. The solution implies to have a distance between dowels of 32 mm; a ratio of dowel penetration in the main part of 0,55 and a dowel length of 60 mm.

Keywords: end to edge butt joint; heat-treated wood; ash; tensile and compressive strength; optimisation

Suggested citation: Bedelean Bogdan, Georgescu Sergiu. Optimisation of end to edge butt joint with response surface methodology: a preliminary study. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 58–62.

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-58-62

INTRODUCTION

The joints used in the manufacture of wooden products must be able to take over, to transmit and to support the load required by their use. One of the most used joints in the construction of furniture is end to edge butt joint (fig. 1). This type of joint is preferred for the easy of their processing [8].

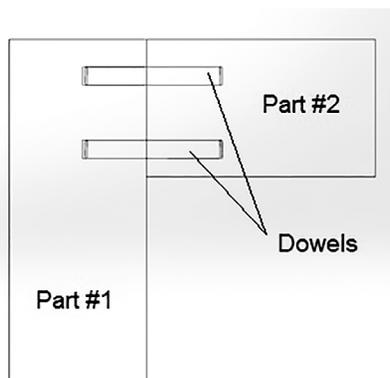


Fig.1. End to edge butt joint

Рис. 1. Соединение торцевого стыка

End to edge butt joint sizing is based on the existing recommendations in the literature [1, 3, 5]. These recommendations are based on studies that have been developed for solid wood joints, where wood has superior mechanical properties compared to heat-treated wood, whose main disadvantage is the reduced mechanical strength. This disadvantage can be reduced by appropriate sizing of joints used for manufacturing the products [7]. To the best of our knowledge, there is lack of studies that deal with this topic.

OBJECTIVE

The main objective of the present research is to figure out the optimal dowel length, the distance between dowels and the ratio of dowel penetration in the main part of an end to edge butt joint. In order to obtain our objective, the response surface methodology (RSM), which is a class of designs of experiments, has been applied. RSM allows the reduction in the number of experiments which would be necessary to estimate multiple parameters and their interactions. Thus, time and effort are greatly shortened. One can find more information about RSM in Sova et al. [9].

MATERIAL, METHOD, EQUIPMENT

The material used in this research was untreated and heat-treated ash (*Fraxinus Excelsior*) boards. Some technological steps were followed in order to obtain the end to edge butt joint, as follows: drilling the wooden elements, gluing and jointing the parts and joints conditioning. Before gluing, the parts were selected and arranged according to the experimental plan (table 1).

Adhesive consumption rate was 350 g/m², according to Negreanu [8]. In order to find the area of each hole, the SolidWorks software was used to 3D modelling of various holes depth, according to experimental plan. The quantity of adhesives needed to be applied in each hole was calculated by multiplying the adhesive consumption rate by area of each hole. The adhesive was applied by means of a 2 ml syringe.

In order to obtain a good adhesion, after applying the adhesive, the parts waited a period of 10 minutes long before jointed. The possible influence of adhesive excess on the strength of joint was limited by

Table 1

The experimental plan used in the present research
Экспериментальный план, использованный в настоящем исследовании

Configura- tion	Independent variables				Dependent variables		
	Distance be- tween dowels (X_1), mm	Hole depth in the parts of the joints (X_2), mm			Dowel length (X_3), mm	Breaking com- pression force (Y_1), N	Breaking tensile force (Y_2), N
		part #1 of joint	part #2 of joint	Ratio of dow- els penetration in part #2			
1	16	15	15	0,5	30	788	2330
2	32	15	15	0,5	30	1110	3740
3	16	21	9	0,7	30	1010	2540
4	32	21	9	0,7	30	1040	2180
5	16	30	30	0,5	60	2250	4990
6	32	30	30	0,5	60	2060	4460
7	16	42	18	0,7	60	2610	4730
8	32	42	18	0,7	60	1970	4200
9	24	27	18	0,6	45	2620	5420
10	24	27	18	0,6	45	2490	4510
11	24	27	18	0,6	45	2780	6120
12	24	27	18	0,6	45	2460	4610
13	24	27	18	0,6	45	1990	4460
14	16	27	18	0,6	45	3130	5350
15	32	27	18	0,6	45	3460	4970
16	24	23	22	0,5	45	2960	7460
17	24	32	13	0,7	45	2120	3580
18	24	18	12	0,6	30	1180	3190
19	24	36	24	0,6	60	3030	6310
20	24	27	18	0,6	45	2990	5930
21	24	27	18	0,6	45	2690	5880
22	24	27	18	0,6	45	2420	4450
23	24	27	18	0,6	45	2340	5700
24	24	27	18	0,6	45	2300	4620

separating the parts of joint by applying wax paper [4]. The parts of joint were pressed after jointing in a screw clamping device and were conditioned for two weeks [6].

The mechanical testing of joints was performed on the universal testing machine Zwick Roell Z10. The load was applied at a constant speed of 3 mm per minute until a significant separation between the two parts occurred [7]. The value of the maximum breaking force was recorded for each tested specimen. The joints were tested both for compression and tensile load, as it is recommended in the literature (fig. 2) [10]. The devices were especially designed for this kind of test.

RESULTS AND DISCUSSION

Mathematical models (multiple regression equations) were established based on the experimental results by using the Design-Expert Version 9 — Stat-Ease. The models describe the relationship between independent variables (the distance between dowels, ratio of dowel penetration in the main part of joint and the length of the dowel) and the dependent variables (breaking compression force and breaking tensile force). The obtained models are presented in table 2.

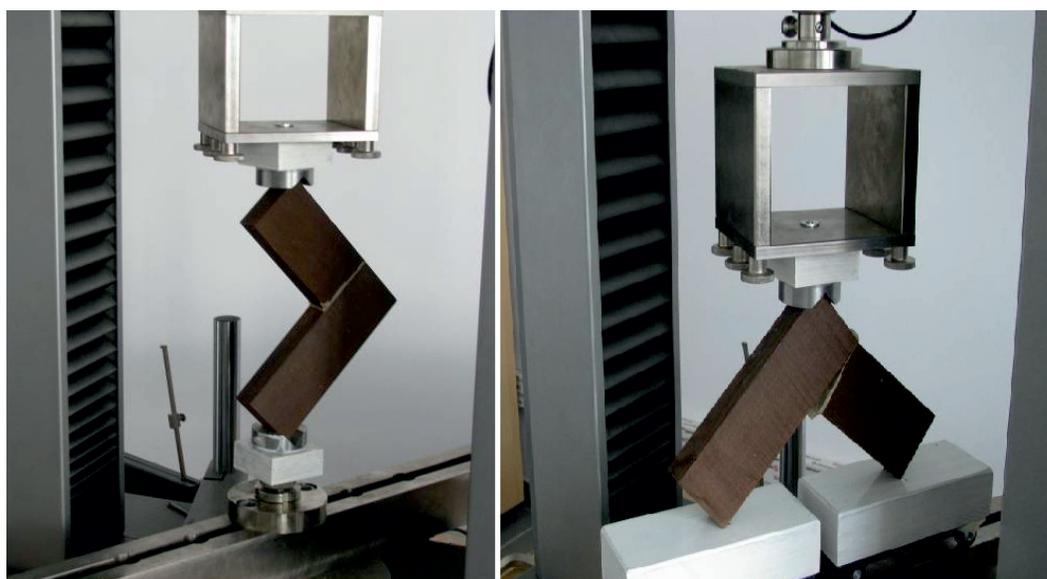
Based on the sign of the coefficients of obtained models, it was found that the heat-treated wood joint strength increases when:

- the dowel length increases;
- the distance between holes increases;
- the ratio of dowel penetration in the main part of joint decreases.

Based on the value of coefficients of models, it was found the most important independent variable that affects the strength of joint is the length of dowel. Moreover, the length of dowel has a nonlinear effect on breaking compression force (fig. 3, *a, b*).

In the case of heat-treated wood joints the independent variables interact for a better compressive and tensile strength, as it could be observed based on the equations presented in Table The most important interaction is between the ratio of dowel penetration in the main part of joint (X_2) and the length of the dowel (X_3).

Based on the developed models, the optimisation algorithm that is included in the Design- Expert Software and technological constraints, it was obtained a single optimal solution. The solution implies to have a distance between dowels of 32 mm; a ratio of



a

b

Fig. 2. Testing of end to edge butt joint at compression (a) and tensile (b)
 Рис. 2. Испытание концевое стыкового стыка при сжатии (a) и растяжении (b)

Table 2

Mathematical models that describes the relationship between independent and dependent variables
 Математические модели, описывающие взаимосвязь между независимыми и зависимыми переменными

Type of joints	Form of presenting the equation	Obtained Equation	Coefficient of determination (R ²)
Breaking compression force	Coded	$Y = 2208,01 + 108,90X_1 - 87,90X_2 + 669,30X_3 - 105,87X_1X_2 + 16,38X_1X_3 - 182,62X_2X_3 + 204,96X_1^2 - 285,04X_2^2 - 410,04X_3^2$	0,82
	Real	$Y = -16751,86 - 66,84X_1 + 41980,55X_2 + 278,41X_3 - 132,34X_1X_2 + 0,13X_1X_3 - 121,75X_2X_3 + 3,20X_1^2 - 28503,79X_2^2 - 1,82X_3^2$	
Breaking tension force	Coded	$Y = 4022,32 + 347X_1 - 456X_2 + 1084X_3 - 340X_2X_3 + 1055,72X_1^2 - 819,28X_2^2 - 849,28X_3^2$	0,85
	Real	$Y = -31290,94 - 748,41X_1 + 103954X_2 + 547,97X_3 - 226,66 X_2X_3 + 16X_1^2 - 81928,27X_2^2 - 3,77X_3^2$	

dowel penetration in the main part of 0,55 and a dowel length of 60 mm. The fulfilment of optimization criteria (*D*) was high (*D* = 0,91). The optimisation criteria consisted in maximizing both the compressive and tension breaking force.

The optimal values obtained are close to those found in the literature, as follows:

- the distance between dowels is suggested at 32 mm due to technological constraints (distance between axes of the drilling tools mandrels) [1];
- the ratio of dowel penetration in the main part of joint is recommended to be 0,50 [2, 3];
- the dowel length could be either 50mm or 60mm [3, 8].

CONCLUSIONS

The material used in this research was untreated and heat-treated ash (*Fraxinus Excelsior*) boards. Some technological steps were followed in order to obtain the end to edge butt joint. The joints were tested both for compression and tensile load. The main variable affecting the resistance joints is the length of dowels. The independent variables interact for a better compressive and tensile strength. The proposed optimal solution could be considered suitable for the joints made of heat-treated wood. In a further study more variables that influence the compression and tensile strength of end to edge butt joints must be considered, in order to develop

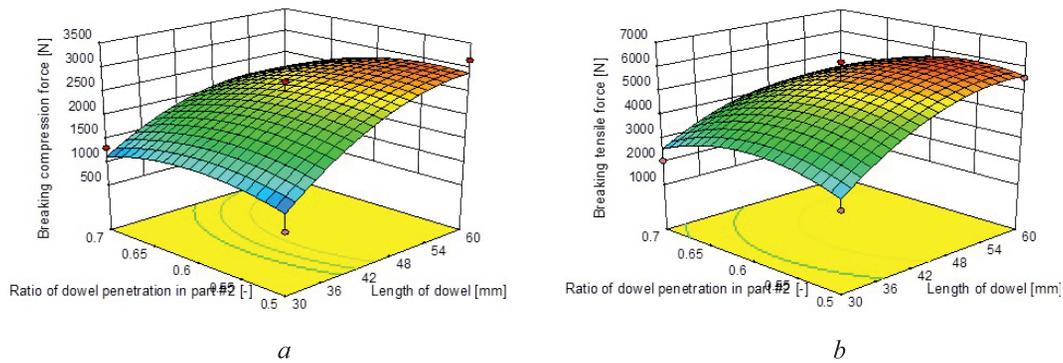


Fig. 3. Response surface plot showing the effect of ratio of dowel penetration in the main part of joint and the length of dowel on the breaking compressive force (a) and breaking tensile force (b). The distance between dowels was considered equal to 32 mm

Рис. 3. Диаграмма поверхности реакции, показывающая влияние отношения проникновения дюбеля в основной части стыка и длины дюбеля на разрывную сжимающую силу (a) и разрывное растягивающее усилие (b). Расстояние между дюбелями считалось равным 32 мм

practical recommendations needed during the design phase of wooden products.

ACKNOWLEDGEMENT

This research was done with funds offered by Transilvania University of Brasov for the Master thesis: Comparative analysis of a L-shaped corner joint made of heat-treated and untreated wood. During this work the infrastructure of R&D Institute of the Transilvania University of Brasov was used too.

References

- [1] Cismaru M. Wood structures (in Romanian). Transilvania University Publishing House, Brasov, 2009.
- [2] Craftsmanspace. Dimensioning woodworking and carpentry joint, 2016. Available at: <http://www.craftsmanspace.com/knowledge/dimensioning-woodworking-and-carpentry-joints.html>
- [3] Curtu I., Nastase V., Mihai D., Mihailescu T., Stoian O. Joints in wood: Structure, technology and reliability (in Romanian). Technical Publishing House, Bucharest, 1988.
- [4] Dalvand M., Ebrahimi G., Tajvidi M., Layeghi M. Bending moment resistance of dowel corner joints in case-type furniture under diagonal compression load. Journal of Forestry Research, 2014, v. 25 (4), pp. 981–984.
- [5] Eckelman C.A. Textbook of product engineering and strength design of furniture. Purdue University, West Lafayette, Indiana, America, 2003.
- [6] Kasal A., Eckelman C.A., Haviarova E., Erdil Y.Z., Yalcin I. Bending moment capacities of L-shaped mortise and tenon joints under compression and tension loadings. BioResources, 2015, v. 10 (4), pp. 7009–7020.
- [7] Kuzman M.K., Kutnar A., Ayrilmis N., Kariz M. Effect of heat treatment on mechanical properties of selected wood joints. European Journal of Wood and Wooden Products, 2015, v. 73, pp. 689–691.
- [8] Negreanu C. Contributions to the study of dowel joints that are used in the structure of furniture made of solid wood (in Romanian). Ph. D thesis. Transilvania University of Brasov, 2003.
- [9] Sova D., Bedelea B., Sandu V. Application of Response Surface Methodology to Optimization of Wood Drying Conditions in a Pilot-Scale Kiln. Baltic Forestry, 2016, no. 22 (2).
- [10] Yerlikaya N.C., Aktas A. Enhancement of load-carrying capacity of corner joints in case-type furniture. Materials and Design, 2012, v. 37, pp. 393–401.

Author's information

Bogdan Bedelea — Ph. D, Transilvania University of Brasov, Faculty of Wood Engineering, Str. Universitatii nr. 1, 500068 Brasov, Romania, bedelea@unitbv.ro

Sergiu Georgescu — student eng., Transilvania University of Brasov, Faculty of Wood Engineering Str. Universitatii nr. 1, 500068 Brasov, Romania, sergiu.georgescu@unitbv.ro

Received 10.05.2017

ОПТИМИЗАЦИЯ УГЛОВОГО КОНЦЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ, ОСНОВАННАЯ НА МЕТОДОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТИ ОТКЛИКА: ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Богдан Беделеан, Серджиу Георгеску

Университет Трансильвании в Брашове, Str. Universitatii nr. 1, 500068 Брашов, Румыния

bedelean@unitbv.ro, sergiu.georgescu@unitbv.ro

Одним из наиболее часто используемых видов соединений при сборке мебели является угловое концевое соединение деталей. Этот тип соединения является предпочтительным из-за легкости процесса. В данной работе анализируется влияние термической обработки на прочность при сжатии и растяжении углового концевого соединения. Также анализируется оптимальная длина шканта, расстояние между шкантами и соотношение глубины установки шканта к основной части углового концевого соединения. Соединения деталей были сделаны из термически обработанной древесины ясеня (*Fraxinus excelsior*). Длина шканта оказывает большее влияние на прочность соединения при сжатии и растяжении, чем расстояние между шкантами и глубина установки шканта. Предложено оптимальное решение размещения шкантов для соединений, изготовленных из термически обработанной древесины. Данное решение предполагает наличие расстояния между шкантами 32 мм; соотношение глубины установки шканта к основной части углового концевого соединения — 0,55 и длину шканта — 60 мм.

Ключевые слова: угловое концевое соединение, термически обработанная древесина, ясень, прочность на растяжение и сжатие, оптимизация

Ссылка для цитирования: Bedelean Bogdan, Georgescu Sergiu. Optimisation of end to edge butt joint with response surface methodology: a preliminary study. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 58–62. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-58-62

Список литературы

- [1] Cismaru M. Wood structures (in Romanian). Transilvania University Publishing House, Brasov, 2009.
- [2] Craftsmanspace. Dimensioning woodworking and carpentry joint, 2016. Available at: <http://www.craftsmanspace.com/knowledge/dimensioning-woodworking-and-carpentry-joints.html>
- [3] Curtu I., Nastase V., Mihai D., Mihailescu T., Stoian O. Joints in wood: Structure, technology and reliability (in Romanian). Technical Publishing House, Bucharest, 1988.
- [4] Dalvand M., Ebrahimi G., Tajvidi M., Layeghi M. Bending moment resistance of dowel corner joints in case-type furniture under diagonal compression load. *Journal of Forestry Research*, 2014, v. 25 (4), pp. 981–984.
- [5] Eckelman C.A. Textbook of product engineering and strength design of furniture. Purdue University, West Lafayette, Indiana, America, 2003.
- [6] Kasal A., Eckelman C.A., Haviarova E., Erdil Y.Z., Yalcin I. Bending moment capacities of L-shaped mortise and tenon joints under compression and tension loadings. *BioResources*, 2015, v. 10 (4), pp. 7009–7020.
- [7] Kuzman M.K., Kutnar A., Ayrilmis N., Kariz M. Effect of heat treatment on mechanical properties of selected wood joints. *European Journal of Wood and Wooden Products*, 2015, v. 73, pp. 689–691.
- [8] Negreanu C. Contributions to the study of dowel joints that are used in the structure of furniture made of solid wood (in Romanian). Ph.D thesis. Transilvania University of Brasov, 2003.
- [9] Sova D., Bedelean B., Sandu V. Application of Response Surface Methodology to Optimization of Wood Drying Conditions in a Pilot-Scale Kiln. *Baltic Forestry*, 2016, no. 22 (2).
- [10] Yerlikaya N.C., Aktas A. Enhancement of load-carrying capacity of corner joints in case-type furniture. *Materials and Design*, 2012, v. 37, pp. 393–401.

Сведения об авторах

Богдан Беделеан — доцент, Университет Трансильвании в Брашове, Str. Universitatii nr. 1, 500068, Брашов, Румыния, bedelean@unitbv.ro

Серджиу Георгеску — аспирант, Университет Трансильвании в Брашове, Str. Universitatii nr. 1, 500068, Брашов, Румыния, sergiu.georgescu@unitbv.ro

Статья поступила в редакцию 10.05.2017 г.

ГАЗИФИКАЦИЯ ТОРРЕФИЦИРОВАННОГО ТОПЛИВА ПРИ ВЫРАБОТКЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ДЛЯ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Р.Р. Сафин, И.Ф. Хакимзянов, Н.Р. Галяветдинов, Р.Р. Зиятдинов

Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), 420015, Российская Федерация, Республика Татарстан, Казань, ул. К. Маркса, д. 68

cfaby@mail.ru

Возрастающая необходимость удовлетворения существующих потребностей населения и промышленности в электрической энергии, особенно в районах, удаленных от централизованного энергоснабжения, приводит к необходимости развития «малой энергетики». Ее основу в данных регионах составляют энергоустановки, работающие на привозном топливе, применение которых влечет за собой проблему повышения стоимости и проблему транспортировки топлива к месту потребления. Решением данной задачи является использование в качестве топлива торрефицированных отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной промышленности. Рассматривается влияние температуры торрефикации древесного топлива на вырабатываемую мощность электрогенератора. В результате проведенных экспериментов выявлено, что при газификации торрефицированного топлива из растительного сырья вырабатывается генераторный газ с повышенным содержанием водорода и оксида углерода (по сравнению с газификацией необработанного сырья), вследствие чего увеличивается мощность двигателя. Это оказывает прямое влияние на выработку электроэнергии электрогенератором.

Ключевые слова: газификация, электроснабжение, торрефицирование, топливные гранулы

Ссылка для цитирования: Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Галяветдинов Н.Р., Зиятдинов Р.Р. Газификация торрефицированного топлива при выработке электроэнергии для децентрализованных потребителей // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 63–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-63-69

В настоящее время более 60 % территории России находятся вне зоны централизованного тепло- и энергоснабжения. В связи с этим возникает острая необходимость развития «малой энергетики», имеющей неоспоримые преимущества по сравнению с централизованными системами — доступную цену и минимальные сроки строительства. Как правило, основу «малой энергетики» составляют энергоустановки с двигателями внутреннего сгорания, работающие на нефтяном топливе. Однако дальнейшее развитие «малой энергетики» осложняется проблемой повышения стоимости и трудностями транспортировки топливных ресурсов к месту потребления. Решением данных проблем является использование в качестве топлива альтернативного источника энергии — отходов деревообрабатывающей и сельскохозяйственной промышленности, огромными запасами которых обладает большинство регионов страны.

Одним из перспективных вариантов рационального использования отходов биомассы является изготовление из них топливных гранул, которые могут составить достойную конкуренцию традиционным источникам энергии [1]. Решению данного вопроса посвящены многие труды. Так, N. Saracoglu и G. Gunduz выполнили исследование по определению эффективности использования в качестве топлива древесных пеллет, в ходе которых установили, что использование древесных пеллет в качестве источника энергии

уменьшает количество выбросов CO₂ и других парниковых газов в атмосферу [2].

В ходе дальнейшего развития данного направления использования отходов биомассы в качестве твердого топлива стали применять предварительную термическую обработку растительного сырья при температуре 180...300 °С в безвоздушной среде [3–7].

В работе [8] представлено исследование физических и энергетических свойств топливных гранул, которые были подвергнуты различной температурной обработке без доступа кислорода. Выявлено, что при увеличении температуры термической обработки древесного сырья увеличивается теплотворная способность топливных гранул.

Научной группой под руководством S.S. Vincent проведены исследования по определению эффективности термической обработки биомассы. Установлено, что внедрение данной технологии позволяет получить топливо из сельскохозяйственных отходов с теплотворной способностью до 24·10³ кДж/кг [9]. Авторами работы [10] показано, что наибольшее влияние на процесс торрефикации оказывает температура обработки, а не ее продолжительность и размеры частиц.

Но чтобы использовать твердое топливо для получения электроэнергии, зачастую требуется его предварительная газификация с последующим сжиганием генераторного газа в двигателе внутреннего сгорания. Цель настоящей работы — установить

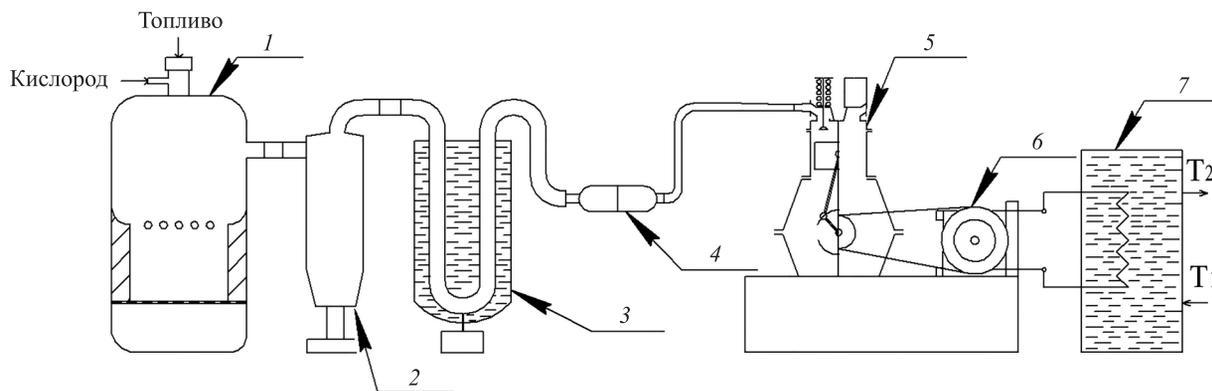


Рис. 1. Технологический комплекс для выработки электрической энергии: 1 — газогенератор; 2 — циклон для охлаждения газа; 3 — змеевиковый теплообменник; 4 — фильтр; 5 — двигатель внутреннего сгорания; 6 — электрогенератор; 7 — теплообменник

Fig. 1. The scheme of a technological complex for development of electric energy: 1 — gas generator; 2 — cyclone for gas cooling; 3 — coiled heat exchanger; 4 — filter; 5 — internal combustion engine; 6 — electric generator; 7 — heat exchanger

влияние температуры торрефикации топлива из биомассы на получение генераторного газа с последующим производством электрической энергии.

Чтобы исследовать влияние температуры термической обработки топлива на производство электроэнергии, создан пилотный энергокомплекс для выработки электроэнергии из генераторного газа, получаемого в результате газификации гранулированного топлива (рис. 1) [11].

Установка работает следующим образом: в бункер — топку газогенератора 1 закладывается биомасса в виде гранул из торрефицированной измельченной древесины. Для изготовления торрефиката сырье подвергается предварительной термической обработке без доступа кислорода воздуха при температуре 200...300 °С с последующим гранулированием. Далее начинается процесс газификации древесины с получением генераторного газа. Полученное газообразное топливо после грубой очистки в циклоне 2, охлаждения в змеевиковом теплообменнике 3 и тонкой очистки в фильтре 4 используется для работы четырех тактного двигателя внутреннего сгорания 5, который, в свою очередь, приводит в действие генератор 6, вырабатывающий электрический ток для нагрева теплоносителя в теплообменнике 7.

В ходе проведения экспериментов были определены теплофизические свойства топлив. Об-

разцы топлива из классического древесного и растительного сырья, используемые в данном исследовании, были сопоставлены с биомассой этих же видов топлива, подвергнутых термической обработке (таблица).

В процессе проведения исследования был определен состав получаемого генераторного газа в зависимости от температуры торрефикации топлива (рис. 2). Установлено, что проведение термической обработки топлива позволяет уве-

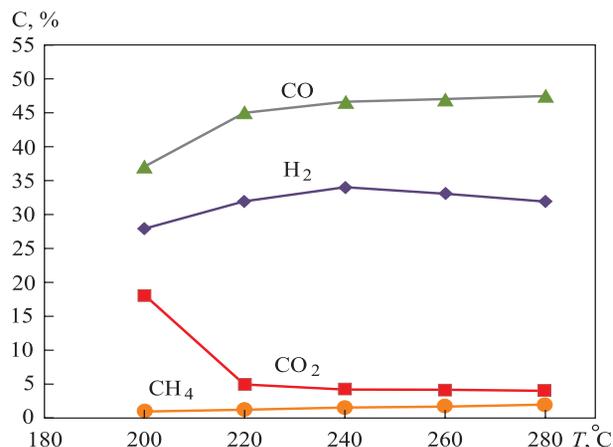


Рис. 2. Состав генераторного газа, полученного при газификации торрефицированного топлива из биомассы
Fig. 2. Composition of the generating gas received at gasification of torrefied fuel from biomass

Т а б л и ц а

Теплофизические свойства топливных гранул
Heat-physical properties of fuel granules

Теплофизическое свойство	Топливные гранулы из древесного сырья	Топливные гранулы из растительного сырья	Торрефицированные топливные гранулы из древесного сырья	Торрефицированные топливные гранулы из растительного сырья
Максимальная теплота сгорания, Дж/г	19 365	19 989	22 564	23 109
Зольность, %	24,3	10,8	25,8	13,6

личить содержание в составе генераторного газа водорода и оксида углерода при одновременном уменьшении диоксида углерода.

В ходе экспериментальных исследований установлено влияние генераторного газа, полученного при газификации торрефицированного топлива, на мощность двигателя внутреннего сгорания (рис. 3). Как видно из графика, мощность двигателя увеличивается в зависимости от увеличения температуры термической обработки топлива.

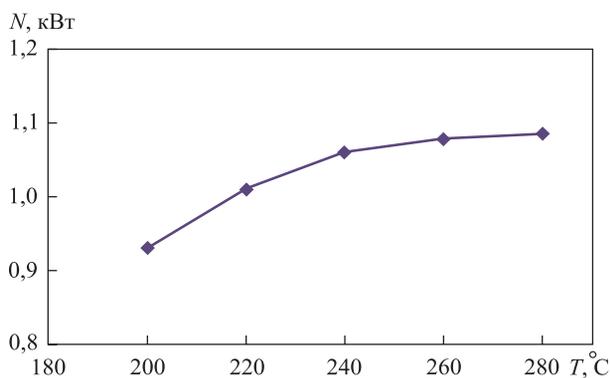


Рис. 3. Зависимость мощности двигателя от температуры торрефикации топлива из биомассы

Fig. 3. The dependence of the power of engine from the temperature of torrefaction of biomass fuels

Кроме того, с целью подтверждения энергоэффективности использования в качестве топлива торрефицированного растительного сырья были проведены исследования по определению количества вырабатываемой энергии по сравнению с топливными гранулами, не подвергнутыми термической обработке (рис. 4).

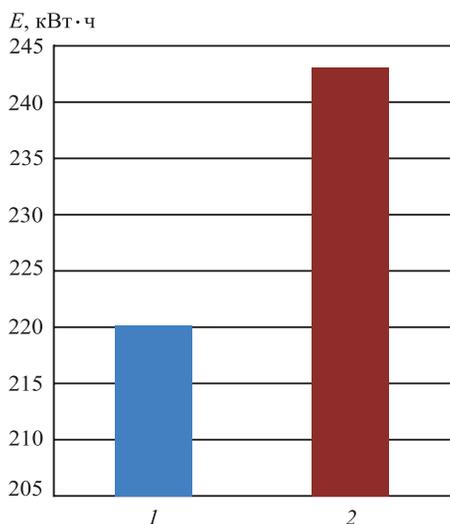


Рис. 4. Сравнительные характеристики выработки электроэнергии из различных источников: 1 — растительное сырье; 2 — торрефицированное растительное сырье

Fig. 4. Comparative characteristics of power generation from various sources: 1 — vegetable raw materials; 2 — torrefied vegetable raw materials

Как видно из диаграммы, предварительная термическая обработка топливных гранул позволяет увеличить производство электрической энергии по сравнению с необработанными топливными гранулами.

Таким образом, использование торрефицированных топливных гранул в качестве источника энергии позволяет увеличить производительность всего энергетического комплекса.

Данная работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — докторов наук (МД — 5596.2016.8).

Список литературы

- [1] Shayakhmetova A.H., Nazipova F.V., Safin R.R., Timerbaeva A.L., Safina A.V. Alternative types of solid bio-fuels and their comparative characteristics // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 15th. SGEM, 2015. pp. 53–58.
- [2] Sarakoglu N., Gunduz G. Wood Pellets – Tomorrow's Fuel for Europe // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2009, v. 31, iss. 19, pp. 1708–1718.
- [3] Способ термообработки древесины Пат. 2422266 Российская Федерация, МПК В 27 К 5/00 / Сафин Р.Р., Сафин Р.Г., Разумов Е.Ю., Тимербаев Н.Ф., Зиатдинова Д.Ф., Хайрутдинов С.З., Кайнов П.А., Хасаншин Р.Р., Воронин А.Е., Шайхутдинова А.Р.; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Научно-технический центр по разработке прогрессивного оборудования» (ООО «НТЦ РПО»). № 2009146406/21; заявл. 14.12.2009; опубл. 27.06.2011, Бюл. № 2. 6 с.
- [4] Способ термической обработки древесины Пат. 2453425 Российская Федерация, МПК В 27 К 3/02 / Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Разумов Е.Ю., Сафин Р.Г., Данилова Р.Г., Кайнов П.А., Оладышкина Н.А., Белякова Е.А.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный технологический университет». № 2011101723/13; заявл. 18.01.2011; опубл. 20.06.2012, Бюл. № 17. 7 с.
- [5] Safin R.R., Shaikhutdinova A.S., Khasanshin R.R., Akhunova L.V., Safina A.V. Improving the energy efficiency of solid wood fuel // International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 15th. SGEM. 2015. pp. 315–322.
- [6] Шаяхметова А.Х., Сафин Р.Р., Тимербаева А.Л., Зиатдинов Р.Р. Торрефицирование твердых видов биотоплива из древесины и лузги подсолнечника // Вестник Казанского технологического университета, 2015. Т. 18. № 8. С. 138–141.
- [7] Сафин Р.Р., Хакимзянов И.Ф., Кайнов П.А. Методология снижения энергетических затрат и разработка новых принципов в процессах сушки и термовлажностной обработки материалов // Вестник Казанского технологического университета, 2015. Т. 18. № 11. С. 128–131.
- [8] Сафин Р.Р., Хасаншин Р.Р., Тимербаева А.Л., Сафина А.В. Исследование физических и энергетических свойств топливных гранул на основе термомодифицированного древесного сырья // Инженерно-физический журнал, 2015. Т. 88. № 4. С. 925–928.

- [9] Vincent S.S., Mahinpey N., Mani T. Torrefaction of Flax Straw Biomass and Its Kinetic Studies // *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2015, v. 37, iss. 21, pp. 2338–2345.
- [10] Garba M.U., Gambo S.U., Musa U., Tauheed K., Alhassan M., Adeniyi O.D. Impact of torrefaction on fuel property of tropical biomass feedstocks // *Biofuels*, 2017, pp. 1–9.
- [11] Хакимзянов И.Ф. Разработка технологического комплекса по экономии топливно-энергетических ресурсов для получения тепловой энергии // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса сб. науч. тр. III Международной научно-технической конференции. Кострома: КГТУ, 2015. С. 147–148.

Сведения об авторах

Сафин Руслан Рушанович — д-р техн. наук, профессор, кафедра «Архитектура и дизайна изделий из древесины», Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), cfaby@mail.ru

Хакимзянов Ильшат Фердинатович — аспирант кафедры «Архитектуры и дизайн изделий из древесины», Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), ilshat_170@mail.ru

Галяветдинов Нур Равилевич — канд. техн. наук, доцент, кафедра «Архитектура и дизайн изделий из древесины», Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), nour777@mail.ru

Зиятдинов Радис Решидович — канд. техн. наук, доцент, кафедра «Переработка древесных материалов», Казанский национальный исследовательский технологический университет (ФГБОУ ВО «КНИТУ»), olambis@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 05.06.2017 г.

GASIFICATION OF TORREFIED FUEL AT POWER GENERATION FOR THE DECENTRALIZED CONSUMERS

R.R. Safin, I.F. Khakimzyanov, N.R. Galyavetdinov, R.R. Ziatdinov

Kazan National Research Technological University, 68 Karl Marx street, Kazan, 420015, Republic of Tatarstan, Russia
cfaby@mail.ru

The increasing need of satisfaction of the existing needs of the population and the industry for electric energy, especially in the areas remote from the centralized energy supply, results in need of development of «small-scale energy generation». At the same time the basis in these regions is made by the energy stations, using imported fuel, which involve a problem of increase in cost and transportation of fuel to the place of consumption. The solution of this task is the use of the torrefied waste of woodworking and agricultural industry as fuel. The influence of temperature of torrefaction of wood fuel on the developed electric generator power is considered in the article. As a result of the experiments it is revealed that at gasification of torrefied fuel from vegetable raw material the generating gas with the increased content of hydrogen and carbon oxide, in comparison with gasification of the raw materials, is produced. Owing to this the engine capacity increases, that exerts direct impact on power generation by the electric generator.

Keywords: gasification, power supply, torrefaction, fuel granules

Suggested citation: Safin R.R., Khakimzyanov I.F., Galyavetdinov N.R., Ziatdinov R.R. Gasification of torrefied fuel at power generation for the decentralized consumers. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 63–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-63-69

More than 60 % of territory of the Russian Federation is out of a zone of centralized heat and power supply nowadays. In this regard there is an urgent need for development of the «small-scale energy generation» having a number of indisputable advantages in comparison with the centralized systems — the reasonable price and the minimum terms of construction. As a rule, the main share of «small-scale energy generation» is made by the power stations with internal combustion engines, using oil fuel. However further development of «small-scale energy generation» is complicated by a problem of increase in cost and transportation of fuel resources to the place of consumption. The solution of this problem is use waste from the woodworking and agricultural industries fuel of an alternative energy source.

One of the perspective options of rational use of waste of biomass is production of fuel granules which can make the worthy competition to traditional power sources [1]. Many works are devoted to the solution of the matter. N. Saracoglu and G. Gunduz have executed the research on effective use of wood pellet as fuel. It has been established that the use of wood pellet as a power source reduces the number of emissions of CO₂ and other greenhouse gases in the atmosphere [2].

Preliminary heat treatment of vegetable raw materials at temperatures of 180...300 °C in the airless environment became the further development of the direction of use of waste of biomass as solid fuel [3–7].

Physical and energy properties of fuel granules subjected to various temperatures of processing without oxygen access have been investigated in work [8]. It is revealed that at increase in temperature of heat treatment of wood raw materials the calorific ability of fuel granules increases.

The scientific group under the direction of S.S. Vincent etc. has conducted the research on finding efficiency of heat treatment of biomass. It is revealed that carrying out this technology allows to receive fuel from agricultural waste with calorific ability to 24·10³ kJ/kg [9] and that the processing temperature has the greatest impact on the process of a torrefaction, than duration and the sizes of particles [10].

However the use of solid fuel in processes of receiving the electric power often requires its preliminary gasification with the subsequent combustion of generating gas in the internal combustion engine.

Thus, the task of finding influence of temperature of torrefaction of fuel from biomass on receiving the generating gas with the subsequent production of electric energy has been set in the offered work.

With a research objective of influence of temperature of heat treatment of fuel on electricity generation the pilot energy complex for power generation from the generating gas, received as a result of gasification of the granulated fuel (fig. 1), has been created [11].

The installation works as follows: biomass in the form of granules from the torrefied crushed wood is put in the bunker — fire chamber of a gas generator 1. For production of fuel the raw material was exposed to preliminary heat treatment without air oxygen access at temperatures of 200–300 °C with the subsequent granulation. Further the process of gasification with receiving generating gas begins. The received gaseous fuel, after rough cleaning in a cyclone 2, cooling in the coiled heat exchanger 3 and thin cleaning in the filter 4, is used for operation of the 4-stroke internal combustion engine 5 which, in turn, puts the generator 6, developing electric current for heating of the heat carrier in the heat exchanger, 7 in action.

The heat-physical properties of fuels have been

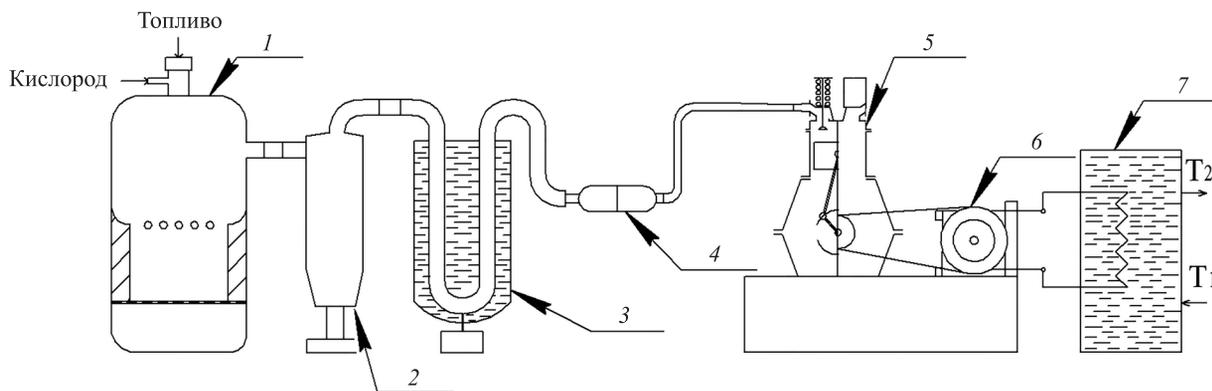


Fig. 1. The scheme of a technological complex for development of electric energy: 1 — gas generator; 2 — cyclone for gas cooling; 3 — coiled heat exchanger; 4 — filter; 5 — internal combustion engine; 6 — electric generator; 7 — heat exchanger
Рис. 1. Технологический комплекс для выработки электрической энергии: 1 — газогенератор; 2 — циклон для охлаждения газа; 3 — змеевиковый теплообменник; 4 — фильтр; 5 — двигатель внутреннего сгорания; 6 — электрогенератор; 7 — теплообменник

defined during the experiments. The fuel samples from classical wood and vegetable raw materials used in this research have been compared with biomass of the same types of fuel, subjected to heat treatment (table).

In the course of carrying out a research the composition of the received generating gas, depending on temperature of torrefaction of fuel (fig. 2), has been defined. Carrying out heat treatment of fuel allows increasing contents of hydrogen and carbon

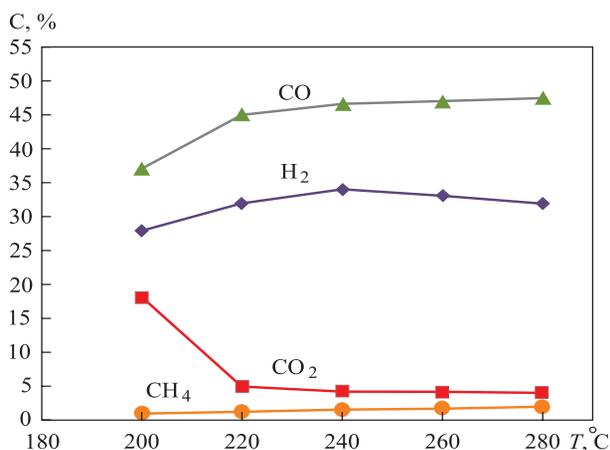


Fig. 2. Composition of the generating gas received at gasification of torrefied fuel from biomass

Рис. 2. Состав генераторного газа, полученного при газификации торрефицированного топлива из биомассы

oxide as a part of generating gas at simultaneous reduction of carbon dioxide.

The influence of the generating gas, received at gasification of torrefied fuel on the engine capacity of internal combustion, has been defined (fig. 3). According to the graph, engine capacity increases depending on increase in temperature of heat treatment of fuel.

In addition, to confirm the energy efficiency of use of the torrefied plant material (as fuel), the researches on definition of amount of energy, produced in com-

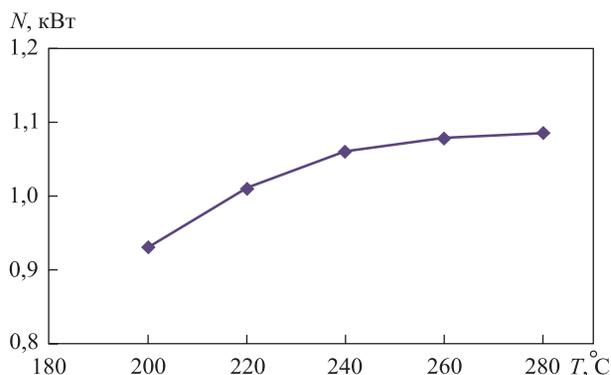


Fig. 3. The dependence of the power of engine from the temperature of torrefaction of biomass fuels

Рис. 3. Зависимость мощности двигателя от температуры торрефикации топлива из биомассы

Table

Heat-physical properties of fuel granules
Теплофизические свойства топливных гранул

Heatphysical properties	Fuel granules from wood raw materials	Fuel granules from vegetable raw materials	Torrefied fuel granules from wood raw materials	Torrefied fuel granules from vegetable raw materials
The highest heat of combustion, J/g	19 365	19 989	22 564	23 109
Ash-content, %	24,3	10,8	25,8	13,6

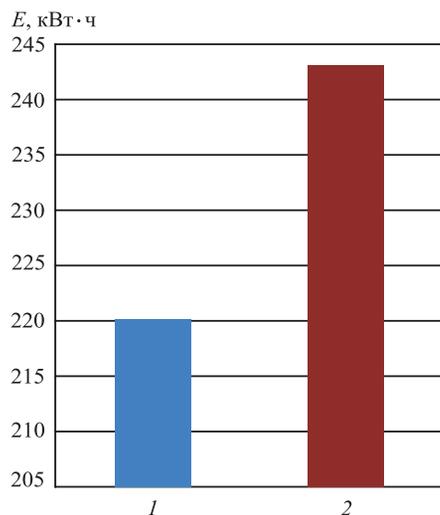


Fig. 4. Comparative characteristics of power generation from various sources: 1 — vegetable raw materials; 2 — torrefied vegetable raw materials

Рис. 4. Сравнительные характеристики выработки электроэнергии из различных источников: 1 — растительное сырье; 2 — торрефицированное растительное сырье

parison with the fuel pellets not subjected to a heat treatment, have been conducted (fig. 4).

According to this graph, pre-heat treatment of fuel granules allows increasing production of electric energy in comparison with the raw fuel granules.

The work was performed with support of grant of President of Russian Federation for state support of young Russian scientists — doctors of Sciences (MD-5596.2016.8).

References

- [1] Shayakhmetova A.H., Nazipova F.V., Safin R.R., Timerbaeva A.L., Safina A.V. Alternative types of solid biofuels and their comparative characteristics. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 15th. SGEM, 2015, pp. 53–58.
- [2] Sarakoglu N., Gunduz G. Wood Pellets – Tomorrow’s Fuel for Europe. Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2009, v. 31, iss. 19, pp. 1708–1718.
- [3] Sposob termoobrabotki drevesiny [Method of heat treatment of wood] Pat. 2422266 Russian Federation, IPC B 27 K 5/00.
- [4] Sposob termicheskoy obrabotki drevesiny [A method of thermal processing of wood] Pat. 2453425 Russian Federation, the IPC B 27 K 3/02. Safin R.R., Khasanshin R.R., Razumov E.Yu., Safin R.G., Danilova R.G., Kainov P.A., Oladyshkina N.A., Belyakova E. A. Applicant and patent holder State Educational Establishment of Higher Professional Education «Kazan State Technological University». No. 2011101723/13; Claimed. 01/18/2011; Publ. 20.06.2012, Bul. no. 17. 7 p. : 2 ill., 2 pr.
- [5] Safin R.R., Shaikhutdinova A.S., Khasanshin R.R., Akhunova L.V., Safina A.V. Improving the energy efficiency of solid wood fuel. International Multidisciplinary Scientific GeoConference Surveying Geology and Mining Ecology Management, 15th. SGEM. 2015, pp. 315–322.
- [6] Shayakhmetova A.Kh., Safin R.R., Timerbaeva A.L., Ziatdinov R.R. Torrefitsirovanie tverdykh vidov biotopliva iz drevesiny i luzgi podsolnechnika [Hardening of hard biofuel from hardwood and sunflower husks hardening] Herald of Kazan Technological University, 2015, v. 18, no. 8, pp. 138–141.
- [7] Safin R.R., Khakimzyanov I.F., Kainov P.A. Metodologiya snizheniya energeticheskikh zatrat i razrabotka novykh printsiptov v protsessakh sushki i termovlazhnostnoy obrabotki materialov [Methodology of energy costs reduction and development of new principles in drying processes and thermal treatment of materials] Herald of Kazan Technological University, 2015, v. 18, no. 11, pp. 128–131.
- [8] Safin R.R., Khasanshin R.R., Timerbaeva A.L., Safina A.V. Issledovanie fizicheskikh i energeticheskikh svoystv toplivnykh granul na osnove termomodifitsirovannogo drevesnogo syr’ya [Investigation of physical and energy properties of fuel pellets based on thermo-modified wood raw materials] Engineering and Physics Journal, 2015, v. 88, no. 4, pp. 925–928.
- [9] Vincent S.S., Mahinpey N., Mani T. Torrefaction of Flax Straw Biomass and Its Kinetic Studies // Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects, 2015, v. 37, iss. 21, pp. 2338–2345.
- [10] Garba M.U., Gambo S.U., Musa U., Tauheed K., Alhassan M., Adeniyi O.D. Impact of torrefaction on fuel property of tropical biomass feedstocks. Biofuels, 2017, pp. 1–9.
- [11] Khakimzyanov I.F. Razrabotka tekhnologicheskogo kompleksa po ekonomii toplivno-energeticheskikh resursov dlya polucheniya teplovoy energii [Development of a technological complex for saving fuel and energy resources for obtaining heat energy] Actual problems and prospects for the development of the timber industry complex. Collection of scientific papers of the III International Scientific and Technical Conference. Kostroma: KSTU, 2015, pp. 147–148.

Author’s information

Safin Ruslan Rushanovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor, head of the department «Architecture and design of wood», Federal State Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», cfaby@mail.ru

Khakimzyanov Ilshat Ferdinatovich — pg. of the department «Architecture and design of wood», Federal State Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», ilshat_170@mail.ru

Galyavetdinov Nour Ravilevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the department «Architecture and design of wood», Federal State Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», noZiatdinov Radis Reshidovichr777@mail.ru

Ziatdinov Radis Reshidovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the department «Processing of wood materials», Federal State Educational Institution of Higher Education «Kazan National Research Technological University», olambis@rambler.ru

Received 05.06.2017

УДК 674.02

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-70-72

OPTIMIZATION OF THE CUTTING SCHEDULE DURING SANDING

Emilia-Adela Salca

Transilvania University of Braşov, Universitatii 1, 500068, Braşov, Romania

emilia.salca@unitbv.ro

The present paper work is part of a research project developed in Romania during last few years and applied to several under-utilized wood species, such as alder, poplar and birch, with a view to capitalize these wood resources for their further use in furniture industry. The paper aims to identify the best cutting schedule during the wood sanding process when considering the power consumption as an optimization criterion. The sanding was applied to black alder wood (*Alnus glutinosa* L.) by using a wide belt sander machine with variable cutting parameters, three grit sizes, and three sanding directions. The experiments were performed under industrial conditions and all data were processed through the regression method. The results of the present study showed the increase of power consumption along the increase of feed speed and cutting depth, respectively.

Keywords: black alder, sanding process, feed speed, cutting depth, power consumption

Suggested citation: Salca Emilia-Adela. Optimization of the cutting schedule during sanding. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 70–72. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-70-72

INTRODUCTION

The sanding process is the last machining operation applied to wooden surfaces mostly in wood-working and furniture industry, with a view to increase the surface quality of the product by enhancing its appearance and thus increasing its aesthetic value [1]. The sanding process of wood was extensively studied during the last decade. There are several variables to be considered for the sanding process, such as: wood moisture content, wood species, wood density, processing direction, grit size, cutting pressure, belt speed, feed speed, cutting depth, and grit size [2–4]. The grit size influences the wood surface quality while the speed, pressure and oscillations do not have a certain and critical effect upon it [5]. Kilic et al. showed the interaction wood-machine-tool with its direct effect on wood surface quality [6]. The material removal rate can change with the variation of pressure and the power consumption were found to increase with the increase of sanding pressure [7]. In his study Saloni found that the power consumption during sanding increased with the belt speed and feed speed [8]. Varanda et al. also confirmed that a higher belt speed consumed more power to different types of sandpapers [9]. Javorek et al. found that the wood species presented a very low influence on power consumption, but the pressure, sanding direction and speed had an overwhelming influence upon the cutting power [10].

The present paper aims to identify the best cutting schedule during the wood sanding process when considering the power consumption as the optimization criterion. The sanding was applied to black alder wood (*Alnus glutinosa* L.) by using a wide belt sander machine with variable cutting parameters, three grit sizes, and three sanding directions.

MATERIAL AND METHOD

Defect free black alder (*Alnus glutinosa*) timber pieces were purchased from a local company in Buzau, Romania. The samples were cut at dimensions of 300 by 95 by 16 mm and they were sanded on a wide belt sander machine having the following technical characteristics: abrasive belt dimensions of about 1900 × 1130 mm, sanding speed (against the feed direction) of about 16 m/s, contact pressure of about 4,5 bar and feed speed between 4 and 20 m/min. The samples presented 8 % moisture content. The feed speed and cutting depth varied as follows: 4, 8, 12, 16 and 20 m/min and 0,1; 0,2; 0,3; 0,4 and 0,5 mm, respectively. The factorial experiment with two variables was applied. The sanding was performed for a total of 39 wooden samples along three cutting directions (13 pieces allocated for each direction) such as parallel, perpendicular and at 45° angle to the grain. Three grit sizes of corundum abrasive, namely 80, 100 and 120 were used for the experiment. They were combined into three different sanding programs having the following sequences: 80 and 120 grit sizes; 100 and 120 grit sizes and 120 grit size. Initially the 60 grit size sandpaper was used for the calibration step. The power consumption of sanding and feeding was recorded at milisecond but the effective power during sanding was calculated as a difference between the recorded power and the power during idle running. The regression method with a second degree non-linear model was used.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The effect of sanding by using various cutting schedules on the power consumption was shown through the 3D surfaces obtained by mathematical simulation for each one of the sanding sequence

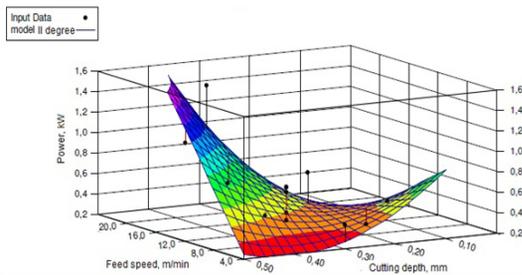


Fig. 1. Variation of power consumption during the parallel sanding of black alder wood using the sanding sequence of 100 and 120 grit sizes as a function of feed speed and cutting depth

Рис. 1. Изменение потребления энергии при параллельном шлифовании древесины черной ольхи с использованием последовательности шлифования размером 100 и 120 зерен в зависимости от скорости подачи и глубины резания

and sanding direction. Fig. 1 presents an example of such variation of power consumption using the parallel sanding sequence of 100 and 120 grit sizes as a function of the feed speed and cutting depth.

As a result of the performed analysis, the following conclusions were pointed out:

- The most reduced value of the power consumption of about 0,06 kW was recorded for the sanding of black alder wood at an angle of 45 degree to the grain orientation, during the sanding sequence of 120 grit size after calibration, for a feed speed of 4 m/min and a cutting depth of 0,1 mm (fig. 2).

- In case of parallel sanding at a feed speed of 16 m/min and a cutting depth of 0,1 mm when applying the sanding sequence of 100 and 120 grit sizes, a minimum power consumption of about 0,13 kW was determined, while in the case of perpendicular sanding, for the same sanding sequence, the minimum value of about 0,07 kW was determined at a feed speed of 8 m/min and a cutting depth of 0,1 mm (fig. 1 and fig. 3).

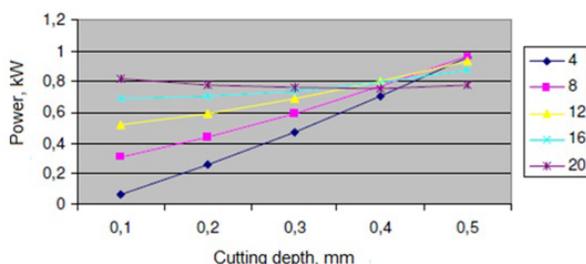


Fig. 2. Variation of power consumption during the sanding of black alder wood at an angle of 45 degree to the grain orientation when using the sequence of 120 grit size as a function of feed speed and cutting depth

Рис. 2. Изменение энергопотребления при шлифовании древесины черной ольхи под углом 45 градусов к ориентации зерна при использовании последовательности размером 120 зерен в зависимости от скорости подачи и глубины резания

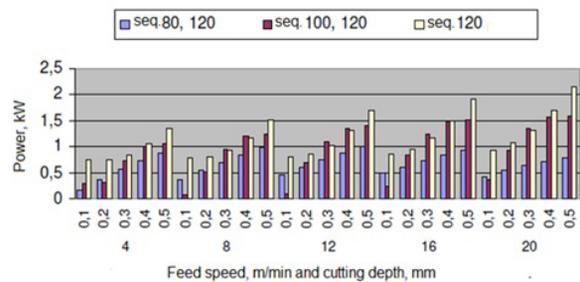


Fig. 3. Variation of power consumption during the perpendicular sanding of black alder wood when using three sanding sequences as a function of feed speed and cutting depth

Рис. 3. Изменение энергопотребления при перпендикулярном шлифовании древесины черной ольхи при использовании трех шлифовальных последовательностей в зависимости от скорости подачи и глубины резания

- The power increased with the increase of feed speed and cutting depth for all the sanding programs.

- The highest power consumption was determined, as expected, in case of perpendicular sanding for all three sanding sequences (fig. 3). Such sanding is not recommended for production because the specific productivity represents 30...100 % of the sanding when processed parallel to the grain.

- The cutting schedule are to be chosen based on the criterion of a minimum power consumption and therefore the parallel sanding is recommended.

- It appeared that the sanding sequence of 100 and 120 grit sizes generated the best results for a minimum power consumption.

CONCLUSIONS

The results of the present work showed that the parallel sanding with a sequence of 100 and 120 grit sizes may be selected to fulfill the criterion of a minimum power consumption. Based on the findings of this work and apart of the presented approach, by applying a joint criterion of power consumption and surface quality, a better cutting schedule may be obtained.

Such results are to be compiled in future works with a view to achieve a more efficient use of the raw material for furniture manufacturing.

References

- [1] Badescu L.A.M., Zeleniuc O., Madan R.L., Spirchez C. Research on the power consumption in sanding process with abrasive brushes compared to the wide belt sanding. *ProLigno*, 2015, no. 11 (4), pp. 501–507.
- [2] Samolej A., Barcik S. Influence of specific pressure on cutting power and wood removal by disc sander. *Drvna Industrija*, 2006, v. 57, no. 1, pp. 5–11.
- [3] Saloni D.E. Process monitoring and control system design, evaluation and implementation of abrasive machining processes, PhD Thesis. North Carolina State University, Raleigh, 2007.

- [4] Varasquim F.M.F., Alves, M.C., Goncalves, M.T.T., Santiago L.F.F., Souza A.J.D. Influence of belt speed, grit sizes and pressure on the sanding of *Eucalyptus grandis* wood. *Cerne Lavras*, 2012, no. 18 (2), pp. 231–237.
- [5] Pahlitzsch G. International state of research in the field of sanding. *Holz als Roh-und Werstoff*, 1970, no. 28, p. 329.
- [6] Kilic M., Hiziroglu S., Burdurlu E. Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment*, 2006, no. 41 (8), pp. 1074–1078.
- [7] Saloni D. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface and power consumption when wood is used. MS thesis. *Integrated Manufacturing System Engineering*, North Carolina State University, 2003.
- [8] Saloni D., Lemaster R., Jackson S. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture and power consumption for wood. *Forest Products Journal*, 2005, no. 55 (12), pp. 35–41.
- [9] Varanda L.D., Alves M.C.S., Gonçaves M.T.T., Santiago L.F.F. Influência das varáveis no lixamento tubular na qualidade das peças de *Eucalyptus grandis*. *Cerne, Lavras*, 2010, no. 16, pp. 23–32.
- [10] Javorek L., Hric J., Vacek V. The study of chosen parameters during sanding of spruce and beech wood. *ProLigno*, 2006, no. 2 (4), pp. 1–11.

Author's information

Emilia-Adela Salca — Ph. D (Eng.), Assoc. Prof., Transilvania University of Braşov, Faculty of Wood Engineering, emilia.salca@unitbv.ro

Received 10.05.2017

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ШЛИФОВАНИИ

Эмилия-Адела Салька

Transilvania University of Braşov, Universitatii 1, 500068, Braşov, Romania

emilia.salca@unitbv.ro

Настоящая работа является частью исследовательского проекта, выполняемого в Румынии в течение последних нескольких лет и направленного на применение некоторых малоиспользуемых древесных пород, таких как ольха, тополь и береза, с целью капитализации этих древесных ресурсов для их дальнейшего использования в мебельной промышленности. Целью статьи является определение наилучшего режима резания во время процесса шлифования древесины при рассмотрении потребления энергии в качестве критерия оптимизации. Шлифование древесины ольхи черной (*Alnus glutinosa* L.) проводилось с использованием широколенточно-шлифовальной машины с переменными режимами резания, для трех размеров абразивного зерна, в трех направлениях шлифования. Исследования проводились в промышленных условиях, все данные обрабатывались методом регрессионного анализа. Результаты данного исследования показали увеличение потребления энергии по мере увеличения скорости подачи и глубины среза, соответственно.

Ключевые слова: ольха черная, процесс шлифования, скорость подачи, глубина среза, потребление энергии

Ссылка для цитирования: Salca Emilia-Adela. Optimization of the cutting schedule during sanding. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 70–72. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-70-72

Список литературы

- [1] Badescu L.A.M., Zeleniuc O., Madan R.L., Spirchez C. Research on the power consumption in sanding process with abrasive brushes compared to the wide belt sanding. *ProLigno*, 2015, no. 11 (4), pp. 501–507.
- [2] Samolej A., Barcik S. Influence of specific pressure on cutting power and wood removal by disc sander. *Drvna Industrija*, 2006, v. 57, no. 1, pp. 5–11.
- [3] Saloni D.E. Process monitoring and control system design, evaluation and implementation of abrasive machining processes, PhD Thesis. North Carolina State University, Raleigh, 2007.
- [4] Varasquim F.M.F., Alves, M.C., Goncalves, M.T.T., Santiago L.F.F., Souza A.J.D. Influence of belt speed, grit sizes and pressure on the sanding of *Eucalyptus grandis* wood. *Cerne Lavras*, 2012, no. 18 (2), pp. 231–237.
- [5] Pahlitzsch G. International state of research in the field of sanding. *Holz als Roh-und Werstoff*, 1970, no. 28, p. 329.
- [6] Kilic M., Hiziroglu S., Burdurlu E. Effect of machining on surface roughness of wood. *Building and Environment*, 2006, no. 41 (8), pp. 1074–1078.
- [7] Saloni D. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface and power consumption when wood is used. MS thesis. *Integrated Manufacturing System Engineering*, North Carolina State University, 2003.
- [8] Saloni D., Lemaster R., Jackson S. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture and power consumption for wood. *Forest Products Journal*, 2005, no. 55 (12), pp. 35–41.
- [9] Varanda L.D., Alves M.C.S., Gonçaves M.T.T., Santiago L.F.F. Influência das varáveis no lixamento tubular na qualidade das peças de *Eucalyptus grandis*. *Cerne, Lavras*, 2010, no. 16, pp. 23–32.
- [10] Javorek L., Hric J., Vacek V. The study of chosen parameters during sanding of spruce and beech wood. *ProLigno*, 2006, no. 2 (4), pp. 1–11.

Сведения об авторах

Эмилия-Адела Салька — доцент, Университет Трансильвании в Брашове, факультет деревообработки, emilia.salca@unitbv.ro

Статья поступила в редакцию 10.05.2017 г.

ОСОБЕННОСТИ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СУШКИ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ

В.П. Галкин¹, А.А. Горяев², Н.Б. Баланцева², О.А. Калиничева², А.А. Калинина¹¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1² ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, 17

vgalkin@mgul.ac.ru

Для качественной высокочастотной сушки древесины требуется электромагнитное поле с равномерными характеристиками. В статье рассмотрены принципы выравнивания поля в рабочем конденсаторе, позволяющие сушить длинномерные сортименты, и приведены способы снижения неравномерности нагрева пиломатериалов в различном диапазоне частот электромагнитного излучения. Показано, что в средневолновом диапазоне частот стоячие волны не оказывают заметного влияния на распространение поля вдоль конденсатора. В высокочастотном диапазоне 5...15 МГц длину конденсатора и частоту тока необходимо увязывать. Предлагается два способа. Первый — подключение ВЧ-генератора в двух-трех точках по длине конденсатора. Второй — подключение регулируемых индуктивностей в точках подключения ВЧ-генератора. Для уменьшения неравномерности нагрева штабеля по сечению предлагается трехэлектродный конденсатор.

Ключевые слова: высокочастотная сушка, неравномерность нагрева, частота тока, конденсатор, стоячие волны, пучности напряжения

Ссылка для цитирования: Галкин В.П., Горяев А.А., Баланцева Н.Б., Калиничева О.А., Калинина А.А. Особенности высокочастотной сушки пиломатериалов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 73–77. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-73-77

Высокочастотная сушка пиломатериалов осуществляется с помощью электрического конденсатора, между пластинами которого помещают древесину. Конденсатор может состоять из двух и более пластин. Длина конденсатора для сушки стандартного штабеля пиломатериалов — 6 метров.

Высокочастотная сушка, по сравнению с конвективной менее продолжительна и обеспечивает более высокое качество сухой древесины. В то же время для получения высокого качества необходимо решить задачу подвода электромагнитной энергии к материалу, обладающему неодинаковыми электрическими характеристиками разных участков. Значения влажности сырой доски изменяются даже по длине одной доски, что выражается в различии электрических показателей: величины активного и реактивного сопротивления, диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь. Чтобы качественно сушить древесину, необходимо исключить неравномерность влажности в локальных областях пиломатериалов [1–8].

Удельные мощности, поглощаемые пиломатериалами с различной влажностью, определяются отношением [4]:

$$\frac{P_{y2}}{P_{y1}} = \frac{E_2^2 \varepsilon_2' \operatorname{tg} \delta_2}{E_1^2 \varepsilon_1' \operatorname{tg} \delta_1} = \frac{E_2^2 \varepsilon_2''}{E_1^2 \varepsilon_1''}, \quad (1)$$

где P_{y2} и P_{y1} — удельные мощности, выделяемые в пиломатериалах с меньшей и большей влажностью;

E_2 и E_1 — напряженность электрического поля в пиломатериалах с меньшей и большей влажностью;

ε_2' и ε_1' — коэффициенты диэлектрических проницаемостей менее влажных и более влажных пиломатериалов;

$\operatorname{tg} \delta_2$ и $\operatorname{tg} \delta_1$ — тангенсы угла диэлектрических потерь менее влажных и более влажных пиломатериалов;

ε_2'' и ε_1'' — диэлектрические потери менее влажных и более влажных пиломатериалов.

Удельная мощность, выделяемая в материале, определяется выражением:

$$P_y = U^2 \omega C \operatorname{tg} \delta, \quad (2)$$

где U — напряжение, В;

ω — угловая частота;

C — емкость рабочего конденсатора,

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon' S}{d}, \Phi. \quad (3)$$

Неравномерность нагрева может возникать не только по ширине, но и по длине конденсатора из-за характера распространения электромагнитной волны. Вдоль конденсаторных пластин распространение электромагнитной волны в $\sqrt{\varepsilon'}$ раз больше, чем в пиломатериалах. Поэтому электромагнитная волна, дойдя до конца штабеля, отражается и направляется навстречу следующей волне. В результате образуются стоячие волны и возникают пучности и узлы напряжения и тока. Максимум выделения тепла происходит в пучностях. Чтобы нагрев был более равномерным, расстояние от точки присоединения фидера до конца штабеля пиломатериалов не должна превышать 10 % длины волны. Допустимая длина конденсатора L_{\max} определяется выражением [10]

$$L_{\text{макс}} = \frac{a \cdot 10^7}{f \sqrt{\epsilon'}}, \quad (4)$$

где a — коэффициент, равный 3; 4; 6 в зависимости от неравномерности напряжения вдоль конденсатора, % — 5; 10; 25;
 f — частота тока, Гц.

На рис. 1 показана зависимость максимальной длины конденсаторной пластины при подключении ВЧ-генератора к середине конденсаторной пластины. В средневолновом диапазоне частот стоячие волны не оказывают заметного влияния, но в высокочастотном диапазоне длину конденсатора и длину волны необходимо увязать. Это касается частот выше $4 \cdot 10^6$ Гц. Чтобы уменьшить неравномерность напряженности электромагнитного поля вдоль конденсатора, высокочастотный генератор подключают в нескольких определенных точках к конденсатору (первый способ).

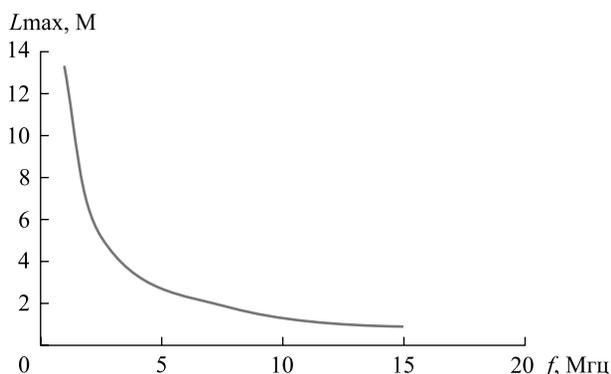


Рис. 1. Зависимость максимальной длины конденсаторной пластины от частоты тока при неравномерности распределения напряженности поля вдоль конденсатора не выше 10 %

Fig. 1. Dependence of the maximum length of the capacitor plate, for, the non-uniformity of the distribution of the field strength along the capacitor is not higher than 10 %, on the frequency of the current

Второй способ уменьшения неравномерности нагрева пиломатериалов основан на подключении регулируемых индуктивностей, которые настраиваются в резонанс с нагрузкой. В качестве переменных индуктивностей могут использоваться переменные вариаторы, устанавливаемые в месте подвода высокой частоты (ВЧ) от генератора к конденсатору. По мере увеличения расстояния от точки подвода к конденсатору ВЧ напряжение изменяется, что ухудшает характеристики прогрева материала. Поэтому от количества мест подвода электромагнитной энергии к конденсатору зависит равномерность характеристик поля и качество сушки древесины. Тепловой энергии в материале выделяется тем больше, чем выше напряженность электромагнитного поля.

Частоты, разрешенные для применения в промышленности, на которых эффективно можно

сушить пиломатериалы: 1,76; 5,28 и 13,56 МГц. Хотя выделяемая в материале энергия пропорциональна частоте поля, в конструкции сушильных установок следует учитывать затухание поля на пластинах конденсатора. С учетом допустимой неравномерности в древесине температурного поля изменения характеристик электромагнитного поля вдоль конденсатора не должны превышать 10 %. Тогда для частоты 1,76 МГц максимальная длина пластин, рассчитанная по формуле (4), составляет 6,5 м. Поэтому в конденсаторе, рассчитанном по длине на один штабель, точка подвода высокой частоты может располагаться в любом месте. Для частоты 5,28 МГц максимальная длина пластины составляет 2,7 м. Для подвода энергии к конденсатору протяженностью 6 м можно использовать одну центральную точку. В месте подвода энергии следует установить переменную индуктивность либо подключить конденсатор в двух точках. При этом расстояние от точки подключения до конца электрода должно быть равно одной четверти длины пластины конденсатора, а расстояние между точками подключения — половине длины пластины конденсатора. Вариант двухточечного подключения конденсатора приведен на рис. 2.

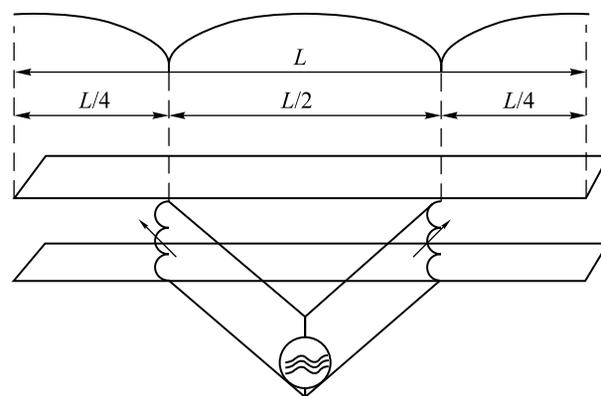


Рис. 2. Подключение ВЧ – генератора к рабочему конденсатору длиной 6 м в двух точках [1]

Fig. 2. Connecting the RF generator to a working capacitor 6 m long at two points [1]

При использовании частоты 13,56 МГц, а именно такова частота ВЧ-генераторов, выпускаемых ЛЗВУ ВНИИТВЧ (ВЧГ60/13), допустимая длина пластины конденсатора составляет всего 0,85 м. Конденсатор надо подключать в трех точках. Причем расстояние от крайних точек подключения до конца электрода должно составлять 1/6 длины электрода, а между точками подключения — 1/3 длины электрода, и в этих точках следует подключать переменные индуктивности для настройки в резонанс с нагрузкой. Трехэлектродная схема подключения конденсатора приведена на рис. 3. Центральный высокопотенциальный электрод

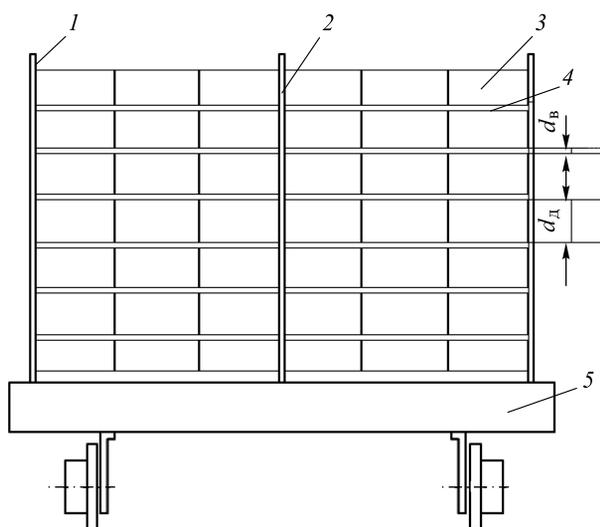


Рис. 3. Трехэлектродный рабочий конденсатор с вертикальными электродами: 1 — центральный (высокопотенциальный) электрод; 2 — боковой электрод; 3 — пиломатериалы; 4 — прокладки толщиной 2,5 см; 5 — тележка

Fig. 3. Three-electrode working capacitor with vertical electrodes: 1 — central (high-potential) electrode; 2 — lateral electrode; 3 — sawn timber; 4 — gaskets thickness 2,5 cm; 5 — trolley

крепится на тележке, пиломатериалы по ширине штабеля укладывают к центральному высокопотенциальному электроду на прокладках толщиной 2,5 см. Этот метод особенно рационален для реализации вакуумно-высокочастотной сушки, когда материал находится в автоклаве. Серийные промышленные автоклавы имеют диаметр от 2,5 до 3,6 м, они хорошо подходят для вакуумно-высокочастотной сушки. Трехэлектродная система конденсатора позволяет иметь максимальный объем загружаемого материала. Электрическая емкость рабочего конденсатора определяется по формуле

$$C_p = \frac{(n-1)(\epsilon'_B S_B + \epsilon'_D S_D) \epsilon'_B S}{4\pi(d_D \epsilon'_B S + d_B \epsilon'_B S_B + \epsilon'_D S_D d_B)}, \quad (5)$$

где n — число электродных пластин;

ϵ'_B — диэлектрическая проницаемость воздуха;

ϵ'_D — диэлектрическая проницаемость высушиваемой древесины;

S — общая односторонняя площадь электродной пластины;

S_B — площадь пластины, занятая горизонтальными воздушными промежутками между пиломатериалами, см^2 ;

S_D — площадь пластины электрода, занятая высушиваемыми пиломатериалами, см^2 ;

d_B — сумма всех воздушных промежутков по высоте штабеля, см;

d_D — сумма толщин всех пиломатериалов по высоте штабеля, см.

Для автоклава стандартных размеров, используемого в качестве ограждений сушильной установки, в конденсатор загружают два штабеля шириной 60 см и высотой 120 см. Обрезные доски укладывают на прокладках толщиной 2,5 см без шпаций. Ширина и толщина досок на емкость конденсатора практически не влияют. Расчеты показывают, что емкость конденсатора C_p при влажности 60 % составляет около 1500 пФ и снижается до 500 пФ при влажности досок 15 %.

Входное сопротивление определяется выражением

$$X_{\text{вх}} = \omega L' = \frac{1}{\omega C_p} + \omega L_{\text{ш}}, \quad (6)$$

где $\omega L'$ — индуктивное сопротивление фидера, 1 мкГн;

$L_{\text{ш}}$ — индуктивность заземляющих шин, 0,1 мкГн.

В зависимости от влажности материала входное сопротивление составляет от 85 до 70 Ом.

В конце сушки следует снижать напряжение, чтобы реактивный ток не превышал 250 А.

Выводы

При высокочастотной сушке пиломатериалов допустимая неравномерность напряженности электромагнитного поля не должна превышать 10 %. Напряженность электромагнитного поля убывает по мере удаления пластины конденсатора от вводного фидера. Затухание высокочастотной энергии увеличивается с увеличением частоты тока.

Для промышленных частот расстояния между присоединительными электродами фидера не должны превышать: для частоты 1,76 МГц — 6,5 м; 5,28 МГц — 2,7 м; для частоты 13,56 Гц — 0,85 м. В установках с генератором тока частотой 13,56 Гц следует применять трехпластинчатый конденсатор, подключаемый в трех точках. При этом в качестве ограждений сушильной установки можно использовать автоклав.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ.

Список литературы

- [1] Вайсфельд Э.Г., Горяев А.А. О равномерности нагрева пиломатериалов при диэлектрической сушке древесины // Науч. тр. ЦНИИМОД. Сушка и защита древесины. М.: ЦНИИМОД, 1985. С. 88–98.
- [2] Галкин В.П. Влияние растягивающих напряжений на изменение величины усушки // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2016. Т. 20. № 4. С. 4–9.
- [3] Санаев В.Г. Изменение усушки древесины при развитии сушильных напряжений // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2015. Т. 19. № 1. С. 54–58.

- [4] Уголев Б.Н. Исследование деформационных превращений поперек волокон древесины кольцесосудистых пород // Актуальные проблемы и перспективы развития лесопромышленного комплекса: сб. науч. тр. III Междунар. науч.-техн. конф. Кострома: КГТУ, 2015. С. 32–34.
- [5] Уголев Б.Н. Экспериментальные исследования влияния наноструктурных изменений древесины на ее деформативность // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2012. № 7 (90). С. 124–126.
- [6] Галкин В.П., Калинина А.А., Санаев В.Г. Оценка влияния сушильных напряжений на изменение коэффициента усушки // Современные проблемы биологического и технического лесоведения: сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. С. 54–59.
- [7] Калинина А.А., Галкин В.П., Санаев В.Г. Влияние внутренних напряжений на изменение коэффициента усушки // Современные проблемы биологического и технического лесоведения: сб. тр. I Междунар. науч.-практ. конф. Йошкар-Ола: ПГТУ, 2016. С. 50–54.
- [8] Галкин В.П. Дровесиноведческие аспекты инновационной технологии сушки древесины. М.: МГУЛ, 2010.
- [9] Дьяконов К.Ф., Горяев А.А. Сушка древесины токами высокой частоты. М.: Лесная пром-сть, 1981. 168 с.
- [10] Горяев А.А. Вакуумно-диэлектрические сушильные камеры. М.: Лесная пром-сть, 1985. 104 с.

Сведения об авторах

Галкин Владимир Павлович — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры лесоведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vgalkin@mgul.ac.ru

Горяев Аркадий Алексеевич — канд. техн. наук, доцент ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», ark16111936@gmail.com

Баланцева Наталья Борисовна — канд. техн. наук, доцент ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», ark16111936@gmail.com

Калиничева Оксана Александровна — канд. техн. наук, доцент ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», ark16111936@gmail.com

Калинина Алёна Анатольевна — ведущий инженер кафедры лесоведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kalinina@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 17.07.2017 г.

FEATURES HIGH-FREQUENCY DRYING LUMBER

V.P. Galkin¹, A.A. Goriaev², N.B. Balantseva², O.A. Kalinicheva², A.A. Kalinina¹

¹ BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

² Northern (Arctic) Federal University, Severnaya Dvina Emb. 17, Arkhangelsk, Russia; 163002

vgalkin@mgul.ac.ru

Considered the process of balancing the electromagnetic field along the capacitor with long-length lumber drying during high frequency. Different ways of reducing the uneven of heating of lumber in a different region of the electromagnetic field frequency are given. It is shown that in the medium frequency range standing waves do not exert significant influence on the distribution of the field along the capacitor. In the high-frequency range of 5...15 MHz condenser length and the current frequency should be linked. Is offered two ways. The first — the connection HF-generator in two-three points along the length of the capacitor. Second — connect adjustable inductances at the points of connection HF-generator. To reduce the non-uniformity heating of stacks over the cross section is considered three electrode capacitor.

Keywords: high-frequency drying, the uneven heating, current frequency, capacitor, standing waves, voltage antinodes

Suggested citation: Galkin V.P., Goriaev A.A., Balantseva N.B., Kalinicheva O.A., Kalinina A.A. *Osobennosti vysokochastotnoy sushki pilomaterialov* [Features high-frequency drying lumber]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 73–77. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-73-77

References

- [1] Vaysfeld E.G., Goriaev A.A. *O ravnomernosti nagreva pilomaterialov pri dielektricheskoy sushke drevesiny* [About uniformity of heating of lumber during a dielectric drying wood]. *Nauchnye trudy TSNIMOD. Sushka i zashchita drevesiny* [Scientific work TSNIMOD. Drying and wood protection]. Moscow: TSNIMOD, 1985, pp. 88–98.
- [2] Galkin V.P., Sanaev V.G., Ugolev B.N., Kalinina A.A. *Vliyanie rastyagivayushchikh napryazheniy na izmenenie velichiny usushki* [The influence of tensile stresses on the change in shrinkage value] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2016, v. 20, no. 4, pp. 4–9.
- [3] Sanaev V.G., Ugolev B.N., Galkin V.P., Kalinina A.A., Aksenov P.A. *Izmenenie usushki drevesiny pri razvitiy sushil'nykh napryazheniy* [Change of wood shrinkage at the development of drying stresses] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2015, v. 19, no. 1, pp. 54–58.
- [4] Ugolev B.N., Gorbacheva G.A., Kalinina A.A., Smirnov D.V. *Issledovanie deformatsionnykh prevrashcheniy poperek volokon drevesiny kol'tsesosudistykh porod* [Investigation of deformation transformations across the fibers of the wood of the annular-vessel timber] *Aktual'nye problemy i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa sbornik nauchnykh trudov III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. KSTU* [Actual problems and prospects for the development of the timber industry complex: a collection of scientific papers of the III International Scientific and Technical Conference. Kostroma: KSTU publ., 2015, pp. 32–34.
- [5] Ugolev B.N., Galkin V.P., Gorbacheva G.A., Kalinina A.A., Belkovskiy S.Yu. *Eksperimental'nye issledovaniya vliyaniya nanostrukturnykh izmeneniy drevesiny na ee deformativnost'* [Experimental studies of the influence of nanostructure changes of wood on its deformability] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2012, no. 7 (90), pp. 124–126.
- [6] Galkin V.P., Kalinina A.A., Sanaev V.G. *Otsenka vliyaniya sushil'nykh napryazheniy na izmenenie koeffitsienta usushki* [Evaluation of the effect of drying stresses on the change of shrinkage coefficient] *Sovremennye problemy biologicheskogo i tekhnicheskogo drevesinovedeniya. Sbornik trudov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Problems of Biological and Technical Wood Science: Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference]. Yoshkar-Ola: PGU publ., 2016, pp. 54–59.
- [7] Kalinina A.A., Galkin V.P., Sanaev V.G. *Vliyanie vnutrennikh napryazheniy na izmenenie koeffitsienta usushki* [The effect of drying stresses on the change of shrinkage coefficient] *Sovremennye problemy biologicheskogo i tekhnicheskogo drevesinovedeniya. Sbornik trudov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Modern Problems of Biological and Technical Wood Science: Proceedings of the First International Scientific and Practical Conference]. Yoshkar-Ola: PGU publ., 2016, pp. 50–54.
- [8] Galkin V.P. *Drevesinovedcheskie aspekty innovatsionnoy tekhnologii sushki drevesiny* [Timber aspects of innovative technology of wood drying] Moscow: MSFU publ., 2010.
- [9] Goriaev A.A., Deacons K.F. *Sushka drevesiny tokami vysokoy chastoty* [Drying of wood by high frequency currents]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' publ. [Timber industry], 1981, p. 168.
- [10] Goriaev A.A. *Vakuumno-dielektricheskie sushil'nye kamery* [Vacuum-dielectric drying chambers]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' publ. [Forest Industry] 1985, 104 p.

Author's information

Galkin Vladimir Pavlovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of Department of Wood Science and Technology, BMSTU (Mytishchi branch), vgalkin@mgul.ac.ru

Goriaev Arkadiy Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.) Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, ark16111936@gmail.com

Balantseva Natal'ya Borisovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, ark16111936@gmail.com

Kalinicheva Oksana Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, ark16111936@gmail.com

Kalinina Alena Anatol'evna — Leading Engineer, BMSTU (Mytishchi branch), kalinina@mgul.ac.ru

Received 17.07.2017

УДК 674.047

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-78-82

ВЛИЯНИЕ ПОВЕРХНОСТНОЙ ВЛАЖНОСТИ НА ВЛАГООБМЕН ПРИ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ СУШКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Н.В. Скуратов

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
skuratov@mgul.ac.ru

В процессе низкотемпературной сушки перемещение воды изнутри к поверхности древесины происходит главным образом под действием градиента влажности. Интенсивность удаления влаги из поверхностных слоев древесины определяется условиями ее взаимодействия с сушильным агентом. При сушке неизбежно возникает изменение размеров, внешнего вида и взаимного расположения анатомических элементов древесины. Многочисленные исследования, в которых были использованы современные методы компьютерной томографии и рентгеноскопии, показали, что наибольшие изменения при сушке происходят в поверхностных слоях древесины, непосредственно контактирующих с сушильным агентом. При механической обработке древесины значительная часть клеток на поверхности в различной степени повреждается. В процессе сушки древесины как целые, так и поврежденные наружные клетки благодаря усушке деформируются. Диаметры микрокапилляров в их стенках постепенно уменьшаются. Соответственно, сокращается суммарная площадь менисков капилляров, с которых испаряется вода. Это, в свою очередь, приводит к изменению характера влагообмена. В работе показано, что интенсивность влагообмена зависит не только от параметров воздуха, но и от характеристик физических свойств древесины: базисной плотности и коэффициента объемной усушки. Приведены зависимости относительной площади испарения с поверхности древесины сосны и дуба от влажности. Полученные данные будут использованы при нахождении коэффициентов влагообмена при низкотемпературной сушке древесины различных пород.

Ключевые слова: сушка древесины, влагообмен, поверхностная влажность, базисная плотность древесины

Ссылка для цитирования: Скуратов Н.В. Влияние поверхностной влажности на влагообмен при низкотемпературной сушке древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 78–82.
DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-78-82

Классическая конвективная сушка проходит в горячем воздухе, который, с одной, стороны, нагревает древесину, а с другой — поглощает испаряемую из нее воду. При низкотемпературном процессе перемещение воды изнутри к поверхности древесины происходит главным образом под действием градиента влажности. Интенсивность процесса внутреннего влагопереноса характеризуется коэффициентом влагопроводности, который зависит от направления потока, температуры, плотности, а также от влажности древесины [1, 2]. Скорость удаления влаги из поверхностных слоев древесины определяется характером ее взаимодействия с сушильным агентом.

В результате сушки размеры поперечного сечения пиломатериалов заметно уменьшаются, в то же время потребительские свойства древесины как материала существенно улучшаются. В некоторых случаях из-за чрезмерно длительного нахождения в горячем воздухе древесина может потемнеть и даже снизить свою прочность и эластичность [3]. Наибольшие изменения в процессе сушки древесины наблюдаются на ее поверхности, поскольку влажность поверхности снижается наиболее быстро. Целью данной работы является исследование влияния величины поверхностной влажности древесины на характер влагообмена при низкотемпературной сушке.

Материалы и методы

Взаимодействие древесины с циркулирующим в сушильной камере воздухом является важной частью сушильного процесса и которая во многом определяет характер его протекания. При моделировании процесса конвективной сушки в качестве условий, описывающих это взаимодействие, в большинстве случаев используют граничные условия 3-го рода [4]. В соответствии с описывающим эти условия уравнением плотность потока воды, испаряющейся с поверхности сохнувшей древесины, пропорциональна разности между поверхностной и равновесной влажностью. Коэффициентом пропорциональности в этом уравнении является коэффициент влагопроводности:

$$q = \alpha_u \rho_b (u_{\text{пов}} - u_p), \quad (1)$$

где q — плотность потока удаляемой с поверхности воды;

α_u — коэффициент влагообмена, отнесенный к разности влажности на поверхности $u_{\text{пов}}$ и равновесной влажности u_p ;

ρ_b — базисная плотность древесины.

Из этого равенства можно вычислить коэффициент влагообмена, если при проведении экспериментальной сушки весовым способом определять плотность потока влаги, удаляемой с боковых

поверхностей опытного образца, и измерять поверхностную влажность [5, 6].

Плотность потока влаги q определяется как количество воды, удаляемое в единицу времени с единичной поверхности образца. При снижении влажности структура древесины вследствие усушки и воздействия горячего воздуха, в отличие от многих капиллярно-пористых тел, существенно изменяется. В результате сушки неизбежно искажаются размеры, внешний вид и взаимное расположение анатомических элементов древесины. Таким образом, вода при сушке удаляется с поверхности древесины, состояние которой (а следовательно, и характеристики) непрерывно изменяется.

На рис. 1 показан один и тот же участок поверхности образца из древесины дуба толщиной 2 мм и шириной 50 мм до и после сушки при

комнатной температуре. Как видно из рисунка, в результате сушки текстура древесины заметно изменилась. Очевидно, что подобные изменения имеют место при сушке любых пиломатериалов.

Результаты исследования кинетики и динамики сушки с помощью самых современных методов, например компьютерной томографии, также дают основания полагать, что в древесине, особенно в ее поверхностных слоях в ходе процесса происходят существенные изменения. В работе [7] с помощью компьютерного томографа получены кривые распределения влажности по толщине соснового образца на различных этапах его низкотемпературной сушки. Высокая разрешающая способность прибора дала возможность определить влажность в слоях толщиной до 13 мкм (рис. 2). Результаты обработки этих кривых, приведенные на этом же рисунке, позволяют

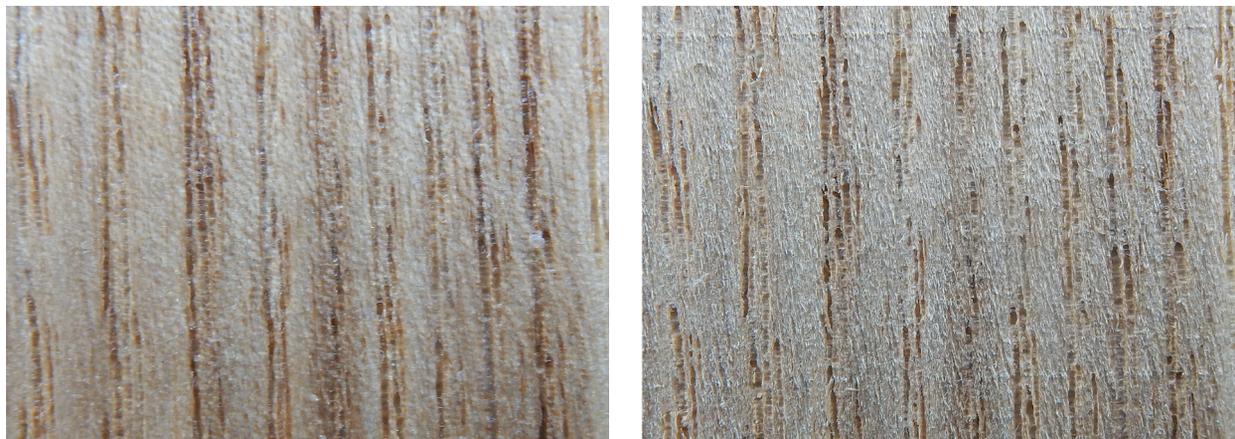


Рис. 1. Внешний вид образца из древесины дуба до (слева) и после (справа) сушки
Fig. 1. Appearance of a sample from oak wood to (left) and after (right) drying

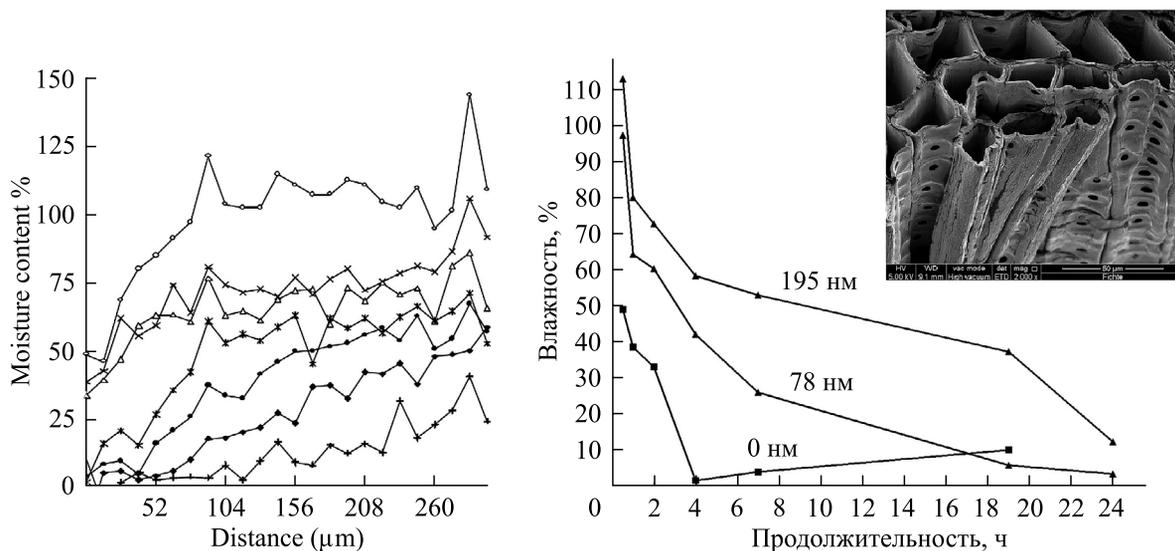


Рис. 2. Распределение влажности по толщине соснового образца при низкотемпературной сушке (слева), кривые изменения влажности на различной глубине и микрофотография поверхности образца (справа)

Fig. 2. The distribution of moisture over the thickness of a pine sample at low-temperature drying (left), curves of changes in humidity at various depths and a micrograph of its surface (right)

заклучить, что неестественное изменение влажности поверхностного слоя могут быть связаны только с искажением структуры этого слоя. Подтверждение этого предложения можно видеть на микрофотографии (см. рис. 2, справа). Наружные клетки, постепенно высыхая, деформируются, как правило, неравномерно, что и приводит к изменениям в структуре поверхностных слоев образцов древесины [8]. Примерно то же самое происходит в поверхностных слоях пиломатериалов и заготовок, которые предварительно подвергалась значительным механическим воздействиям в процессе распиловки, при их сушке в промышленных сушильных камерах. Даже при небольшом увеличении на продольных срезах любого образца из древесины хорошо видно, что его поверхностные слои состоят как из целых, так и поврежденных в различной степени клеток.

Древесина является капиллярно-пористым телом, пористость которого характеризуется относительным объемом пустот при нулевой влажности. Для отечественных пород ее величина колеблется в пределах 40...77 % [9]. В процессе сушки древесины вода в виде жидкости и пара перемещается по капиллярам из внутренних слоев к поверхности, с которой удаляется в результате влагообмена. Количество и размеры капилляров в древесине данной породы зависят от ее плотности. На рис. 3 в качестве примера приведены зависимости относительного объема пор (капилляров) от их диаметров в древесине тополя с низкой и высокой плотностью [10]. Из графика видно, что чем плотнее древесина, тем меньше диаметры ее капилляров. На основании этого можно заключить, что плотность древесины должна влиять на характер влагообмена при сушке.

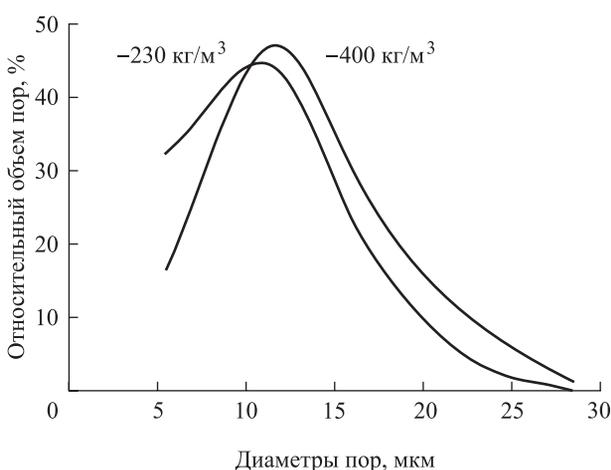


Рис. 3. Распределение пор по диаметрам в древесине тополя с низкой и высокой плотностью

Fig. 3. Pore distribution by diameter in poplar wood with low and high density

Результаты и обсуждение

По аналогии с теплообменом интенсивность влагообмена принято определять по отношению ко всей площади поверхности сохнущего материала. В реальности испарение воды при сушке происходит только с менисков капилляров, выходящих на поверхность древесины. Их относительная суммарная площадь S_k , которая существенно меньше площади поверхности сохнущего материала, может быть рассчитана по следующей формуле:

$$S_k = \frac{0,001u_{пов}p_b}{1 - K_\beta(u_{п.н} - u_{пов})}, \quad (2)$$

где K_β — коэффициент объемной усушки древесины;

$u_{п.н}$ — предел насыщения клеточных стенок.

Кривые на рис. 4, построенные по формуле (2), иллюстрируют влияние влажности на величину реальной площади испарения при сушке древесины сосны и дуба. Оказалось, что при влажности, равной пределу насыщения клеточных стенок, для древесины дуба эта площадь составляет 17,2 %

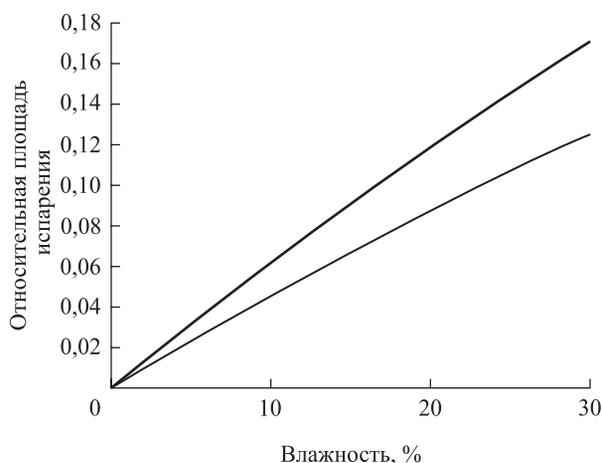


Рис. 4. Зависимость относительной площади испарения с поверхности древесины сосны и дуба от влажности
Fig. 4. Dependence of the relative area of evaporation from the surface of pine and oak wood from humidity

от площади поверхности доски или заготовки, для древесины сосны — 12,6 %. Очевидно, что снижение поверхностной влажности ведет к уменьшению этой площади и, как следствие, к изменению характера влагообмена. Зная базисную плотность и коэффициенты объемной усушки, несложно получить аналогичные зависимости для древесины других пород.

Выводы

Полученные результаты позволяют заключить, что при описании влагообмена в процессе низкотемпературной сушки необходимо учитывать не только параметры сушильного агента, но и показатели физических свойств древесины: базисную плотность и коэффициент объемной усушки. В дальнейшем новые данные будут использованы при нахождении коэффициентов влагообмена при низкотемпературной сушке древесины различных пород.

Список литературы

- [1] Определение коэффициентов влагопроводности при низкотемпературной сушке древесины И.В. Сапожников, Н.В. Скуратов, И.И. Алексеева, Д.А. Самойленко, М.П. Мамонтов, К.А. Матвеева // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2016. № 4. С. 34–39.
- [2] Skuratov N., Sapozhniko I., Alexeeva I., Mamontov M., Matveeva K., Samoilenko D. Measurements during wood drying based on x-ray and slicing techniques and computation of diffusion coefficients. *Pro Ligno*, 2015, v. 11, no. 4, pp. 383–388.
- [3] Скуратов Н.В. Снижение прочности и потемнение древесины при камерной сушке // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2010. № 4. С. 125–128.
- [4] Лыков А.В. Кинетика и динамика процессов сушки и увлажнения. Ленинград: Гизлегпром, 1938. 592 с.
- [5] Скуратов Н.В., Сапожников И.В., Самойленко Д.А., Алексеева И.И. Метод определения поверхностной влажности древесины // Вестник МГУЛ — Лесной вестник, 2016. № 3. С. 66–71.
- [6] Скуратов Н.В., Сапожников И.В., Самойленко Д.А. Лабораторный стенд для исследования влагообмена капиллярно-пористых тел // Современный физический практикум, 2016. № 14. С. 186–189.
- [7] Rosenkilde A. Moisture content profiles and surface phenomena during drying of wood. Stockholm: Swedish Institute for Wood Technology Research, 2002, 36 p.
- [8] Skuratov N.V. Microstructure of wood surface and external mass transfer. /2009 IAWS Plenary meeting and conference // Forest as a renewable source of vital values for changing world. 15-21 June 2009, Saint-Petersburg – Moscow, Russia. SaintPeterburg: SPbGLTA, 2009, 119 p.
- [9] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами товароведения. М.: МГУЛ, 2001. 340 с.
- [10] Peng L.M., Wang D., Fu F., Song B.Q. Analysis of wood pore characteristics with mercury intrusion porosimetry and x-ray micro-computed tomography // *Wood research*, 2015, no. 6, pp. 857–864.

Сведения об авторах

Скуратов Николай Владимирович — канд. техн. наук, профессор кафедры процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), skuratov@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 22.05.2017 г.

EFFECT OF SURFACE MOISTURE CONTENT ON EXTERNAL MASS EXCHANGE AT LOW-TEMPERATURE WOOD DRYING

N.V. Skuratov

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia
skuratov@mgul.ac.ru

At the process of low-temperature drying, water movement from the inside to the wood surface occurs mainly under action of moisture gradient. The intensity of moisture removal from wood surface layers is determined by the conditions of its interaction with the drying agent. When drying the change in sizes, appearance and relative location of wood anatomical elements occur. Numerous studies in which modern methods of computed tomography and fluoroscopy have been used have shown that the greatest changes at drying occur in wood surface layers that are in direct contact with the drying agent. When mechanical treatment of wood occurs, a significant portion of surface cells are damaged in various degrees. During wood drying process both whole and damaged outer cells are deformed due to shrinkage. Diameters of microcapillaries in their walls gradually decrease. Accordingly, the total area of the capillary menisci from which water evaporates is reduced. In turn this leads to the change in the conditions of moisture exchange. In this paper it is shown that the intensity of moisture exchange depends not only on the air parameters, but also on the physical properties of wood: the basis density and the volume shrinkage coefficient. Dependences of the relative area of evaporation from the surface of pine and oak wood on moisture content are given. The obtained data will be used when determining the moisture exchange coefficients for low-temperature drying of wood of different species.

Keywords: wood drying, moisture exchange, surface moisture content, wood basis density

Suggested citation: Skuratov N.V. *Vliyaniye poverkhnostnoy vlazhnosti na vlagobmen pri nizkotemperaturnoy sushke drevesiny* [Effect of surface moisture content on external mass exchange at low-temperature wood drying]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 78–82. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-78-82

References

- [1] Sapozhnikov I.V., Skuratov N.V., Alekseeva I.I., Samoilenko D.A., Mamontov M.P., Matveeva K.A. Opredelenie koeffitsientov vlagoprovodnosti pri nizkotemperaturnoy sushke drevesiny [Determination of moisture conductivity coefficients for low-temperature drying of wood] *Lesnoy vestnik/ Forestry Bulletin*, 2016, v. 20, no. 4, pp. 34–39.
- [2] Skuratov N., Sapozhniko I., Alexeeva I., Mamontov M., Matveeva K., Samoilenko D. Measurements during wood drying based on x-ray and slicing techniques and computation of diffusion coefficients. *Pro Ligno*, 2015, v. 11, no. 4, pp. 383–388.
- [3] Skuratov N.V. Snizhenie prochnosti i potemnenie drevesiny pri kamernoy sushke [Reduction of strength and darkening of wood at kiln drying] *Lesnoy vestnik/ Forestry Bulletin*, 2010, v. 14, no. 4, pp. 125–128.
- [4] Lykov A.V. Kinetika i dinamika protsessov sushki i uvlazhneniya [Kinetics and dynamics of drying and humidification processes], *Gizlegprom*, 1938, 592 p.
- [5] Skuratov N.V., Sapozhnikov I.V., Samoilenko D.A., Alekseeva I.I. Metod opredeleniya poverkhnostnoy vlazhnosti drevesiny [Method for determining the surface moisture of wood] *Lesnoy vestnik/ Forestry Bulletin*, 2016, v. 20, no. 3, pp. 66–71.
- [6] Skuratov N.V., Sapozhnikov I.V., Samoilenko D.A. Laboratornyy stend dlya issledovaniya vlagobmena kapillyarno-poristykh tel [Laboratory stand for the study of the moisture exchange of capillary-porous bodies], *Sovremennyy fizicheskiy praktikum [Modern physical practice]*, 2016, no. 14, pp. 186–189.
- [7] Rosenkilde A. Moisture content profiles and surface phenomena during drying of wood. Stockholm: Swedish Institute for Wood Technology Research, 2002, 36 p.
- [8] Skuratov N.V. Microstructure of wood surface and external mass transfer. /2009 IAWQ Plenary meeting and conference. Forest as a renewable source of vital values for changing world. 15–21 June 2009, Saint-Petersburg — Moscow, Russia. Saint-Petersburg: SPbGLTA, 2009, 119 p.
- [9] Ugolev B.N. Drevesinovedenie s osnovami tovarovedeniya [Wood Science with the Basics of Commodity Science], Moscow, MGUL publ., 2001, 340 p.
- [10] Peng L.M., Wang D., Fu F., Song B.Q. Analysis of wood pore characteristics with mercury intrusion porosimetry and x-ray micro-computed tomography. *Wood research*, 2015, no. 6, pp. 857–864.

Author's information

Skuratov Nikolay Vladimirovich — Cand. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch),
skuratov@mgul.ac.ru

Received 22.05.2017

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ ИЗ ОТХОДОВ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ БУМАГИ НА ТЕРМОПЛАСТИЧНОМ СВЯЗУЮЩЕМ

А.Ю. Гранкин, А.Н. Зарубина, А.С. Савицкий, А.А. Шевляков

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
grankin@mgul.ac.ru

Отходы являются дешевым сырьевым ресурсом и позволяют использовать их повторно в основном производстве или в производстве побочной продукции. С увеличением объемов производства металлизированной бумаги появился новый специфический вид бумажных отходов — отходы металлизированной бумаги. В настоящей статье приведены результаты исследования по получению плитных материалов с использованием отходов производства бумаги, металлизированной алюминием, как наполнителя и отходов из полиэтиленовой пленки как связующего. В качестве наполнителя употребляли отходы металлизированной бумаги марки Metalvac E HWS, измельченной до размера $20 \times 4 \times 0,059$ мм. В качестве сырья для связующего использовали отходы полиэтиленовой пленки, измельченной до среднего размера $10 \times 4 \times 0,01$ мм. Норма расхода связующего во всех экспериментах была зафиксирована на уровне 20 % от массы наполнителя. За окончание процесса прессования принимали время достижения температуры в центре брикета 150°C . Анализ полученных данных показал, что зависимость времени прессования от плотности образца при прочих равных условиях практически близка к линейной. Приведены также результаты изучения физико-механических свойств полученных образцов. Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности утилизации отходов производства металлизированной бумаги для получения композиционных материалов на термопластичном связующем. Эти материалы могут применяться в различных областях промышленности как тепло- и звукоизоляционные или конструкционные. Кроме того, изготовленные с использованием металлизированных бумаг плиты могут обладать особыми электромагнитными свойствами, что позволит расширить область их применения (например, создание защитного слоя, препятствующего проникновению радиоволн). Поэтому исследования в данном направлении являются перспективными и будут продолжены. **Ключевые слова:** металлизированная бумага, бумажные отходы, отходы термопластов, термопластичное связующее, композиционные материалы, плоское прессование

Ссылка для цитирования: Гранкин А.Ю., Зарубина А.Н., Савицкий А.С., Шевляков А.А. Композиционные материалы из отходов металлизированной бумаги на термопластичном связующем // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 83–88. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-83-88

Проблема использования и переработки отходов производства в наши дни крайне актуальна. Отходы являются дешевыми сырьевыми ресурсами и позволяют производителю использовать их повторно в основном производстве или в производстве побочной продукции, что повышает экономические показатели предприятия. Возможность вторичной переработки имеет большое значение и для защиты окружающей среды от загрязнений в целом [1–3].

Остановимся на использовании бумажных отходов (макулатуры) и отходов термопластов (полиэтилена, полипропилена и т. п.).

Бумажные отходы в качестве вторичного сырья находят широкое применение, в частности, для выработки определенного вида бумаги, картона, санитарно-гигиенических изделий, древесно-волоконистых плит, эковаты, кровельных материалов и различных бумажно-полимерных композиционных материалов [4–6]. Также интересны исследования по производству бумажно-полимерных плит, в которых различные виды бумажных отходов используются в качестве наполнителя, а отходы термопластов (полиэтилена,

полипропилена и др.) — в качестве термопластического связующего [7–9].

С увеличением объемов производства металлизированной бумаги появился новый вид бумажных отходов — отходы металлизированной бумаги, которые из-за своих специфических свойств пока не находят применения. *Металлизированная бумага* — это бумага, на поверхность которой с одной либо с обеих сторон наносится тонкий слой металла или металлической фольги. Она довольно часто используется в полиграфии, особенно при производстве наружной рекламы, этикеток для алкогольной продукции, упаковок косметических и парфюмерных изделий, при упаковке табачных изделий. Для производства металлизированной бумаги применяют три основных способа: вакуумную металлизацию, ламинирование и металлизацию переносом. Наиболее часто применяется вакуумная металлизация, когда на подготовленную бумагу путем напыления наносится тончайший металлический слой в высоком вакууме. Затем поверх металлизированного слоя наносится лаковое покрытие. Благодаря этому металлизированный материал приобретает стой-

кость к истиранию. Кроме того, лаковый слой позволяет наносить стойкое изображение и придавать привлекательный вид изделиям [10].

В последние годы появилось много работ, посвященных возможности получения композиционных материалов на термопластичном связующем [1, 2, 11–16]. В качестве связующего в них используются измельченные отходы термопластов, таких как полиэтилен, полипропилен и др. Наполнителем в таких материалах могут служить измельченные древесные, бумажные отходы или другие органические и неорганические материалы. Во всех работах отмечается перспективность использования таких материалов в строительстве и других отраслях промышленности.

В настоящей статье приводятся результаты исследования по получению плитных материалов с использованием отходов производства бумаги, металлизированной алюминием, как наполнителя и отходов из полиэтиленовой пленки как связующего.

В качестве наполнителя употребляли отходы бумаги, металлизированной алюминием методом вакуумной металлизации. Отходы металлизированной бумаги марки Metalvac E HWS получены от предприятия-изготовителя АО «Галилео Нанотех» и имеют следующие свойства: толщина 0,059 мм; плотность бумаги 68 г/м²; плотность напыления алюминия 0,1 г/м². Для использования отходов металлизированной бумаги в качестве наполнителя их измельчали в офисном уничтожителе бумаги (шредере) марки HSM 102.2. Полученные частицы имели размеры 20×4×0,059 мм. Относительная влажность измельченных отходов перед прессованием составляла 5 %.

В качестве сырья для связующего употребляли отходы полиэтиленовой пленки без предварительной сортировки по видам и маркам. Пленку измельчали на дробилке роторного типа для пластмасс марки ИПР-150 с диаметром ячеек калибрующей решетки 10 мм. Полученные частицы полиэтилена имели средние размеры $(10 \pm 5) \times (4 \pm 1) \times (0,01 \pm 0,001)$ мм. Норма расходов связующего во всех экспериментах была зафиксирована на уровне 20 % от массы наполнителя.

Прессование проводили на экспериментальной установке, разработанной для исследования процесса горячего прессования широкого спектра композиционных материалов [17, 18]. Установка создана на базе имеющегося гидравлического пресса и позволяет регулировать, измерять и регистрировать параметры эксперимента в следующих диапазонах:

– температуру нагревательных плит рабочего участка — от 20 до 220 °С;

– температуру исследуемого образца — от 20 до 220 °С;

– нагрузку на исследуемый образец — от 0,01 до 2,5 МПа;

– изменение толщины исследуемого образца — от 0,12 до 0,005 м;

– скорость деформирования исследуемого образца — от 0,001 до 0,025 м/с.

Размеры исследуемого образца 0,3×0,3 м.

Для регистрации температуры в течение всего процесса прессования закладывали термопары на верхней и нижней поверхности и по центру брикета. В процессе всех экспериментов температура плит пресса составляла 200 °С, давление прессования 2,5 МПа, интервал измерения температуры 15 с.

Брикет для проведения эксперимента формировали следующим образом. Наполнитель со связующим, смешивали вручную в необходимых пропорциях, смесь равномерно засыпали в специальную форму размером 0,30×0,30 м, установленную на латунном поддоне размером 0,32×0,32 м, с прокладкой из полиэтилентерефталатной пленки и уложенными на нее термопарой для измерения температуры в центре нижней поверхности брикета и дистанционными прокладками. В центр сформированного пакета через специальный вырез в форме устанавливали вторую термопару для измерения температуры в центре брикета, после чего пакет подпрессовывали.

После подпрессовки форму снимали, на брикет последовательно укладывали термопару для измерения температуры в центре верхней поверхности брикета, прокладку из полиэтилентерефталатной пленки и латунный поддон.

Горячее прессование сформированного брикета проходило между нагревательными плитами пресса, имеющими размер 0,4×0,4 м, до достижения в центре брикета температуры 170 °С. Охлаждение образца проводили между охлаждаемыми плитами до достижения в центре брикета температуры 50 °С при давлении прессования 0,2 МПа.

Анализ температурно-временных характеристик, полученных в процессе прессования образцов различной плотности (рисунок), показал, что прогрев центра образца можно разделить на несколько этапов.

На первом этапе прессования наблюдается запаздывание начала прогрева центра брикета ввиду постепенного прогрева брикета по толщине от его поверхностей к центру, причем с повышением конечной плотности образцов время начала прогрева центра брикета увеличивается. Это связано с большей начальной толщиной брикета и увеличением времени смыкания плит пресса и их посадки на дистанционные прокладки.

На втором этапе начинается прогрев центра брикета, интенсивность которого зависит от те-

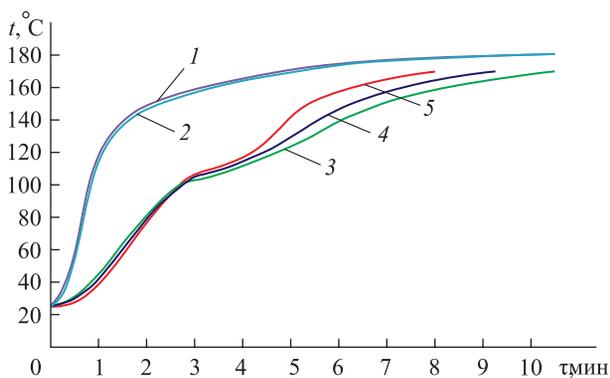


Рис. Изменение температуры в брикете в процессе прессования при различных значениях плотности брикета: 1 — температура на нижней поверхности брикета; 2 — температура на верхней поверхности брикета; 3–5 — температура в центре брикета (3 — $\rho_{бр} = 310 \text{ кг/м}^3$; 4 — $\rho_{бр} = 660 \text{ кг/м}^3$; 5 — $\rho_{бр} = 1100 \text{ кг/м}^3$)

Fig. Temperature change in the briquette during the pressing process at different briquette densities: 1 — temperature on the bottom surface of the briquette; 2 — temperature on the upper surface of the briquette; 3–5 — temperature in the center of the briquette (3 — $\rho_{бр} = 310 \text{ кг/м}^3$; 4 — $\rho_{бр} = 660 \text{ кг/м}^3$; 5 — $\rho_{бр} = 1100 \text{ кг/м}^3$)

плопроводности брикета, а она, в свою очередь, зависит от плотности и влажности брикета. Чем больше плотность брикета и его влажность, тем выше темп прогресса [7, 12, 13].

Третий этап начинается при достижении температуры в центре брикета 100°C происходит интенсивное испарение имеющейся влаги, что приводит к резкому снижению роста температуры. Температура в центре брикета в этом случае зависит от температуры насыщенных паров воды, которая, в свою очередь, зависит от давления парогазовой смеси в центре брикета и увеличивается при повышении давления парогазовой смеси. В связи с этим для брикетов с большей плотностью и большей влажностью температура на этом этапе будет несколько выше, чем для брикетов с меньшей плотностью и меньшей влажностью. третий этап продолжается до момента удаления парогазовой смеси из центра брикета, причем для брикетов с меньшей плотностью продолжитель-

ность этапа намного меньше, чем для брикетов с большей плотностью [7, 12, 13].

Четвертый этап начинается с достижением температуры плавления связующего (для полиэтилена различных марок температура плавления варьируется в диапазоне $105\text{--}135^\circ\text{C}$ [11, 19]). На этом этапе происходит плавление используемого термопласта и его растекание с заполнением существующих пор. Интенсивность прогрева на четвертом этапе зависит от плотности брикета, количества связующего и его температуры плавления. При большей плотности брикета, меньшем содержании термопласта и большей температуре его плавления темп прогресса центра брикета выше.

Третий и четвертый этапы в зависимости от температуры плавления используемого в качестве связующего термопласта могут в той или иной мере перекрываться. В связи с тем что в качестве термопласта использовали отходы из смеси полиэтиленовых пленок, марки которых неизвестны, а следовательно, неизвестна и их температура плавления за окончание процесса плавления, связующего приняли максимальную температуру плавления используемого термопласта (для полиэтилена — 140°C , для полипропилена — 170°C [11, 19]).

На заключительном этапе прессования после окончании плавления связующего и его растекания интенсивность прогрева брикета зависит лишь от его теплопроводности. Чем выше плотность брикета и меньше количество связующего, тем она выше.

За окончание процесса прессования брикета целесообразно принимать время достижения в центре брикета максимальной температуры плавления используемого термопласта с небольшим запасом, гарантирующим полное его плавление и растекание по существующим порам. В нашем случае за окончание процесса горячего прессования можно принять время достижения в центре брикета температуры 150°C . В проведенных исследованиях это время составило: для образцов плотностью 310 кг/м^3 — 6,75 мин; плотностью 660 кг/м^3 — 6,25 мин; 1100 кг/м^3 —

Т а б л и ц а

Физико-механические свойства исследуемых образцов
Physico-mechanical properties of the samples under study

№ образца	Толщина, мм	Плотность, кг/м^3	Предел прочности при изгибе, МПа	Водопоглощение, %		Разбухание по толщине, %	
				за 2 ч	за 24 ч	за 2 ч	за 24 ч
1	10	310	0,8	141,31	145,34	14,23	15,74
2	10	660	3,7	71,76	87,86	19,49	21,03
3	11	1100	18,2	8,01	19,25	2,76	11,98

5,25 мин. Анализ полученных данных показал, что зависимость времени прессования от плотности образца при прочих равных условиях практически близка к линейной [20–25].

Результаты исследования физико-механических свойств полученных образцов представлены в таблице.

Проведенные исследования позволяют сделать вывод о возможности использования отходов производства металлизированной бумаги для получения композиционных материалов на термопластичном связующем. Эти материалы могут применяться в различных областях промышленности как тепло- и звукоизоляционные или конструкционные. Кроме того, изготовленные с использованием металлизированной бумаги плиты могут обладать особыми электромагнитными свойствами, что позволит расширить область их применения (например, создание защитного слоя, препятствующего проникновению радиоволн, и т. д.). Поэтому исследования в данном направлении являются перспективными и будут продолжены.

Список литературы

[1] Савицкий А.С., Шевляков А.А. Основные направления переработки твердых производственных и бытовых отходов // *Технология и оборудование для переработки древесины* : сб. научн. тр. Вып. 312. М.: МГУЛ, 2000. С. 125–129.

[2] Савицкий А.С., Панферов В.И., Шевляков А.А. Переработка твердых органических и полимерных производственных и бытовых отходов в композиционные материалы // *Тез. докладов на II науч.-практ. конф. «Комплексное использование вторичных ресурсов и отходов»*, НПК «Механобр-техника», Санкт-Петербург. 2009. С. 32–33.

[3] Шевляков А.А., Панферов В.И., Шевляков С.А., Маркин А.П. Производство композиционных материалов с использованием вторичных отходов в качестве исходного сырья // *Вестник МГУЛ — Лесной вестник*, 2011. № 5. С. 79–84.

[4] Гранкин А.Ю., Шевляков А.А. Основные направления переработки бумажных отходов // *Технология и оборудование для переработки древесины* // Сб. науч. тр. Вып. 370. М.: МГУЛ, 2015. С. 174–181.

[5] Гранкин А.Ю. Переработка бумажных отходов // *Естественные и технические науки*, 2016. № 6. С. 25–30.

[6] Официальный сайт дизайн-студии SJP. URL: <http://officetimekiev.wordpress.com/2012/12/13/утилизируем-бумагу>.

[7] Савицкий А.С., Шевляков А.А., Савицкий С.А., Сычкин А.В. Исследование температурно-временных характеристик в процессе прессования плит малой плотности на термопластичном связующем // *Технология химико-механической переработки древесины*: сб. научн. тр. Вып. 290. М.: МГУЛ, 1998. С. 14–18.

[8] Савицкий А.С., Шевляков А.А. Композиционные материалы из отходов МБС на термопластичном связующем // *Технология химико-механической переработки древесины*: сб. научн. тр. Вып. 290. М.: МГУЛ, 1998. С. 31–35.

[9] Савицкий А.С., Шевляков А.А. Физико-механические и теплофизические свойства плит из МБС на термо-

пластичном связующем // *Технология химико-механической переработки древесины*: сб. научн. тр. Вып. 295. М.: МГУЛ, 1999. С. 62–66.

[10] Способ изготовления металлизированной этикеточной бумаги Пат. RU 2481953, кл. В31D1/02; D21H19/82; D21H19/08, 20.05.2013 / Колодкин С.В., Петров А.А.

[11] Вторичная переработка пластмасс / под ред. Ф. Ла Мантия; пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. СПб.: Профессия, 2006. 400 с.

[12] Савицкий А.С., Сапожников И.В., Шевляков А.А. Исследование процесса прессования древесных плит на термопластичном связующем // *Технология химической переработки древесины*: сб. научн. тр. Вып. 287. М.: МГУЛ, 1996. С. 11–18.

[13] Савицкий А.С., Шевляков А.А. Особенности процесса прессования влажной древесно-полимерной прескомпозиции // *Технология и оборудование для переработки древесины*: сб. научн. тр. Вып. 315. М.: МГУЛ, 2002. С. 120–123.

[14] Савицкий А.С., Терпугов М.А., Карцовник В.И. Производство древесностружечных плит на термопластичном связующем // Сб. «Плиты и фанера» Экспресс-информация ВНИПИЭИлеспром. Вып. 12. М., 1991. С. 10.

[15] Тришин С.П., Никитин А.А. Изучение технологии получения древесно-стружечных плит на порошкообразном связующем // *Технология и оборудование для переработки древесины* / Сб. науч. тр. Вып. 377. М.: МГУЛ, 2015. С. 106–113.

[16] Тришин С.П., Никитин А.А. Изучение физико-механических и технологических свойств порошкообразных термопластичных связующих и плит // *Технология и оборудование для переработки древесины* / Сб. науч. тр. Вып. 377. М.: МГУЛ, 2015. С. 114–119.

[17] Гранкин А.Ю., Шевляков А.А. Экспериментальная установка для исследования процесса прессования бумажно-полимерных плит // *Естественные и технические науки*. М.: Спутник+, 2015. № 11. С. 538–542.

[18] Маркин А.П., Панферов В.И., Шевляков А.А., Шевляков С.А. Экспериментальный стенд по исследованию деформативных свойств и послойной плотности композиционных материалов // *Вестник МГУЛ — Лесной вестник*. 2011. № 5. С. 85–90.

[19] Уайт Дж.Л., Чой Д.Д. Полиэтилен, полипропилен и другие полиолефины; пер. с англ. под ред. Е.С. Цобалло. СПб.: Профессия, 2006. 256 с.

[20] Trishin S.P., Nikitin A.A., Fedorenko D.V., Kireyeva A.F. Mining technology for producing wood chipboard with the use thermoplastic binder // *Forest complex today, view of young researchers: forest industry and engineering, landscape architecture, woodworking technology, management and economics: Proc. Int. Scient. and pract. conf. V. 1. St. Louis, Missouri, USA, 2017*, pp. 228–233.

[21] Composite material compositions using wastepaper and method of producing same: U.S. Pat. No. 4 339 363. Y. Nakagima. July 13, 1982.

[22] Polyolefi n-base resin composition: U.S. Pat. No. 4 717 743. H. Wakabayashi, F. Kato, T. Matsubara and Y. Ishikawa. January 5, 1988.

[23] Poly-coated paper composites. U.S. Pat. No. 5 952 105. M. Medoff and A. Lagace. September 14, 1999.

[24] Cellulosic fi ber composites: U.S. Pat. No. 5 973 035. M. Medoff and A. Lagace. October 26, 1999.

[25] Pre-treated cellulosic materials for producing molded composite articles therefrom and process: U.S. Pat. No. 5 288 772. D.N.-S. Hon. February 22, 1994.

Сведения об авторах

Гранкин Александр Юрьевич — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), vgalkin@mgul.ac.ru

Зарубина Анжелла Николаевна — канд. техн. наук, доцент кафедры химической технологии древесины и полимеров МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zarubina@mgul.ac.ru

Савицкий Анатолий Станиславович — канд. техн. наук, доцент кафедры процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), savitskiy@mgul.ac.ru

Шевляков Александр Александрович — канд. техн. наук, доцент кафедры процессов и аппаратов деревообрабатывающих производств МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), shevlyakov@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 03.05.2017 г.

APPLICATION OF COMPOSITE MATERIAL BY USING METALLIZED PAPER PRODUCTION WASTE

A.Y. Grankin, A.N. Zarubina, A.S. Savitskiy, A.A. Shevlyakov

BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

grankin@mgul.ac.ru

Waste is a cheap raw resource and allows to reuse them in the main production or in production of the secondary production. With increase in the production of the metallized paper in our region the new specific type of a paper waste — a waste of the metallized paper appeared. In the present article results of a research on receiving slabby materials with recovery of production of the paper metallized by aluminum are given as an excipient and a waste from a polyethylene film as binding. As an excipient used a waste of the metallized paper of the Metalvac E HWS brand crushed to the size $20 \times 4 \times 0,059$ mm. As raw materials for binding used a waste of the polyethylene film crushed to the average size $10 \times 4 \times 0,01$ mm. The consumption rate binding in all experiments was recorded at the level of 20 % of the mass of an excipient. Took temperature first passage time in the center of a briquette for the end of process of a molding 150°C . The analysis of the obtained data showed that dependence of time of a molding on exemplar density under other equal conditions is almost close to the linear. Results of a research of physical and mechanical characteristics of the received exemplars are also given in article. The conducted researches allow to draw a conclusion on a possibility of recovery of production of the metallized papers for receiving composites on thermoplastic binding. These materials can be used as the self-contained warm and acoustic or constructional material applied in various fields of the industry. Besides, when using of the metallized papers of a plate can have special electromagnetic characteristics that will allow to expand the field of their application, for example, for creation of an armor coat from radiowaves and so forth. Therefore researches in this direction are perspective and will be continued.

Keywords: metallized paper, paper waste, thermoplastics waste, thermoplastic binder composites, flat pressing

Suggested citation: *Kompozitsionnye materialy iz otkhodov metallizirovannoy bumagi na termoplastichnom svyazyushchem* [Application of composite material by using metallized paper production waste]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 83–88 DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-83-88

References

- [1] Savitskiy A.S., Shevlyakov A.A. Osnovnye napravleniya pererabotki tverdykh proizvodstvennykh i bytovykh otkhodov [The main directions of processing of solid industrial and household waste] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny* [Technology and equipment for wood processing]. A collection of scientific papers, v. 312. Moscow: MGUL publ., 2000, pp. 125–129.
- [2] Savitskiy A.S., Panferov V.I., Shevlyakov A.A. Pererabotka tverdykh organicheskikh i polimernykh proizvodstvennykh i bytovykh otkhodov v kompozitsionnye materialy [Technology and equipment for wood processing] *Tez. dokladov na II nauch.-prakt. konf. «Kompleksnoe ispol'zovanie vtorichnykh resursov i otkhodov»*, NPK «Mekhanobr-tehnika» [Abstracts of papers on II scientific-practical. conf. «Comprehensive use of secondary resources and waste», NPK «Mekhanobr-tehnika»]. Sankt-Peterburg, 2009, pp. 32–33.
- [3] Shevlyakov A.A., Panferov V.I., Shevlyakov S.A., Markin A.P. Proizvodstvo kompozitsionnykh materialov s ispol'zovaniem vtorichnykh otkhodov v kachestve iskhodnogo syr'ya [Production of composite materials using secondary waste as feedstock] *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2011, no. 5, pp. 79–84.
- [4] Grankin A.Yu., Shevlyakov A.A. Osnovnye napravleniya pererabotki bumazhnykh otkhodov [The basic directions of processing of paper wastes] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny* [Technology and the equipment for wood processing]. A collection of scientific papers, v. 370. Moscow: MGUL publ., 2015, pp. 174–181.
- [5] Grankin A.Yu. Pererabotka bumazhnykh otkhodov [Processing of paper waste] *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and Technical Sciences], 2016, no. 6, pp. 25–30.
- [6] Ofitsial'nyy sayt dizayn-studii SJP. [Official site of the SJP design studio]. Available at: <http://officetimekiev.wordpress.com/2012/12/13/utiliziruem-bumagu>.

- [7] Savitskiy A.S., Shevlyakov A.A., Savitskiy S.A., Sychkin A.V. Issledovanie temperaturno-vremennykh kharakteristik v protsesse pressovaniya plit maloy plotnosti na termoplastichnom svyazuyushchem [Investigation of temperature-time characteristics in the process of compacting low-density plates on a thermoplastic binder] *Tekhnologiya khimiko-mekhanicheskoy pererabotki drevesiny* [Technology of Chemical Mechanical Processing of Wood]. A collection of scientific papers, v. 290. Moscow: MGUL publ., 1998, pp. 14–18.
- [8] Savitskiy A.S., Shevlyakov A.A. Kompozitsionnye materialy iz otkhodov MBS na termoplastichnom svyazuyushchem [Composite materials from waste MBS on a thermoplastic binder] *Tekhnologiya khimiko-mekhanicheskoy pererabotki drevesiny* [Technology of chemical mechanical processing of wood]. A collection of scientific papers, v. 290. Moscow: MGUL publ., 1998, pp. 31–35.
- [9] Savitskiy A.S., Shevlyakov A.A. Fiziko-mekhanicheskie i teplofizicheskie svoystva plit iz MBS na termoplastichnom svyazuyushchem [Physical-mechanical and thermophysical properties of plates from MBS on a thermoplastic binder] *Tekhnologiya khimiko-mekhanicheskoy pererabotki drevesiny* [Technology of Chemical-Mechanical Processing of Wood]. A collection of scientific papers, v. 295. Moscow: MGUL publ., 1999, pp. 62–66.
- [10] Sposob izgotovleniya metallizirovannoy etiketchnoy bumagi [A method for manufacturing metallized label paper] Pat. RU 2481953, kl. B31D1/02; D21H19/82; D21H19/08, 20.05.2013. Kolodkin S.V., Petrov A.A.
- [11] Vtorichnaya pererabotka plastmass [Recycling of plastics]. SPb.: Professiya publ., 2006, 400 p.
- [12] Savitskiy A.S., Sapozhnikov I.V., Shevlyakov A.A. Issledovanie protsessa pressovaniya drevesnykh plit na termoplastichnom svyazuyushchem [Study of the process of pressing wood plates on a thermoplastic binder] *Tekhnologiya khimicheskoy pererabotki drevesiny* [Technology of chemical processing of wood]. A collection of scientific papers, v. 287. Moscow: MGUL publ., 1996, pp. 11–18.
- [13] Savitskiy A.S., Shevlyakov A.A. Osobennosti protsessa pressovaniya vlazhnoy drevesno-polimernoy presskompozitsii [Peculiarities of the pressing process of wet wood-polymer preskozitsii] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny* [Technology and equipment for wood processing]. A collection of scientific papers, v. 315. Moscow: MGUL publ., 2002, pp. 120–123.
- [14] Savitskiy A.S., Terpugov M.A., Kartsovnik V.I. Proizvodstvo drevesnostruzhechnykh plit na termoplastichnom svyazuyushchem [Production of particle board on a thermoplastic binder] «Plity i fanera» *Ekspress-informatsiya VNIPIEIllesprom* [«Plates and plywood» Express information VNIPIEIllesprom], v. 12. Moscow, 1991, p. 10.
- [15] Trishin S.P., Nikitin A.A. Izuchenie tekhnologii polucheniya drevesno-struzhechnykh plit na poroshkoobraznom svyazuyushchem [Studying the technology of obtaining wood-chipboards on a powdery binder] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny* [Technology and equipment for wood processing]. A collection of scientific papers, v. 377. Moscow: MGUL publ., 2015, pp. 106–113.
- [16] Trishin S.P., Nikitin A.A. Izuchenie fiziko-mekhanicheskikh i tekhnologicheskikh svoystv poroshkoobraznykh termoplastichnykh svyazuyushchikh i plit [Investigation of the physico-mechanical and technological properties of powdered thermoplastic binders and plates] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny* [Technology and equipment for wood processing]. A collection of scientific papers, v. 377. Moscow: MGUL publ., 2015, pp. 114–119.
- [17] Grankin A.Yu., Shevlyakov A.A. Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya protsessa pressovaniya bumazhno-polimernykh plit [Experimental setup for studying the pressing process of paper-polymer plates] *Estestvennye i tekhnicheskie nauki* [Natural and technical sciences]. Moscow: Sputnik + publ., 2015, no. 11, pp. 538–542.
- [18] Markin A.P., Panferov V.I., Shevlyakov A.A., Shevlyakov S.A. Eksperimental'nyy stend po issledovaniyu deformativnykh svoystv i posloynoy plotnosti kompozitsionnykh materialov [Experimental stand on the investigation of deformative properties and layered density of composite materials] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2011, no. 5, pp. 85–90.
- [19] Uayt Dzh.L., Choy D.D. Polietilen, polipropilen i drugie poliolefiny [Polyethylene, polypropylene and other polyolefins]. SPb.: Professiya publ., 2006, 256 p.
- [20] Trishin S.P., Nikitin A.A., Fedorenko D.V., Kireyeva A.F. Mining technology for producing wood chipboard with the use thermoplastic binder. *Forest complex today, view of young researchers: forest industry and engineering, landscape architecture, woodworking technology, management and economics: Proc. Int. Scient. and pract. conf.*, v. 1. St. Louis, Missouri, USA, 2017, pp. 228–233.
- [21] Composite material compositions using wastepaper and method of producing same: U.S. Pat. no. 4 339 363. Y. Nakagima. July 13, 1982.
- [22] Polyolefi n-base resin composition: U.S. Pat. no. 4 717 743. H. Wakabayashi, F. Kato, T. Matsubara and Y. Ishikawa. January 5, 1988.
- [23] Poly-coated paper composites. U.S. Pat. no. 5 952 105. M. Medoff and A. Lagace. September 14, 1999.
- [24] Cellulosic fiber composites: U.S. Pat. no. 5 973 035. M. Medoff and A. Lagace. October 26, 1999.
- [25] Pre-treated cellulosic materials for producing molded composite articles therefrom and process: U.S. Pat. no. 5 288 772. D.N.-S. Hon. February 22, 1994.

Author's information

Grankin Aleksandr Yurievic — assistant in the Department of chemistry BMSTU (Mytishchi branch), grankin@mgul.ac.ru

Zarubina Angella Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department chemistry, BMSTU (Mytishchi branch), zarubina@mgul.ac.ru

Savitskiy Anatoliy Stanislavovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of processes and apparatus of woodworking industries, BMSTU (Mytishchi branch), savitskiy@mgul.ac.ru

Shevlyakov Aleksandr Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of and apparatus of woodworking industries, BMSTU (Mytishchi branch), shevlyakov@mgul.ac.ru

Received 03.05.2017

USING POPLAR STUD ELEMENTS IN LIGHT FRAME WALL STRUCTURE INSTEAD OF CONIFEROUS

Zoltan Pastori¹, Imre Czupy², G.A. Gorbacheva³

¹ Innovation Center at the University of Sopron, 4. Bajcsy Zs. Sopron, Hungary 9400

² Institute of Forest and Environmental Techniques at the University of Sopron, 4. Bajcsy Zs. Sopron, Hungary 9400

³ BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

The overall objective of the investigation is to change coniferous wood element to poplar in the wall construction of light frame wood residential buildings therefore important properties were compared. Although not all coniferous element of wood wall is worth to be changed, but there are elements such as studs what are not bearing big forces and have lower exposure. It was investigated some of the most important influencing factors determining the utilization of poplar elements in light frame wall constructions. The element chosen to be changed in the wall construction was examined in the following aspects: mechanical properties; thermo-dynamical properties; screw holding strength. Nowadays one of the most important questions is the thermal resistance of the structure. Originally the studs are heat bridges among the thermal insulation materials being between studs. The poplar studs have a lower thermal conductivity than that of the coniferous consequently the thermal bridge effect is lower compared to the coniferous. The other main part of the study is to investigate the properties of the whole construction. According to our investigations the poplar seems to be an appropriate raw material of light frame constructions with the condition the bulk density is higher than 400 kg/m³.

Keywords: Light frame wood structure, poplar *Populus Euramericana*, thermal conductivity, screw holding strength

Suggested citation: Pastori Z., Czupy I., Gorbacheva G.A. Using poplar stud elements in light frame wall structure instead of coniferous // *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 89–94.

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-89-94

Introduction

In the northern hemisphere the most widespread raw material used in light frame wood construction is coniferous mostly scots pine and spruce. There are wood species which is used mostly for industrial purposes like poplars and the secondary utilization for higher value added products is desirable. Many countries have great population of different hardwood species e.g. the fast growing poplar. In descending order Canada, the Russian Federation, the United States, China and Germany have the biggest reported natural poplar stands out of the International Poplar Commission (IPC) member countries. China, India, France, Turkey and Italy have the biggest reported planted poplar areas, also in ascending order of IPC members [3, 15]. Some of these countries have high quality poplar plantations that can produce materials with dimensions appropriate for building frame elements.

The possibility of using poplar in exterior structures was already examined [4]. According other researchers' opinions the most promising utilization of poplar among others is structural panel industries [1, 2, 9]. Fraanje [7] examined the possibilities of using poplar wood as purlin.

There have already been numerous experiments to use Hungarian broad leaved wood species raw materials but these attempts have been suppressed by the existing coniferous-based construction techniques.

In the 1970's the Forestry Research Institute in Hungary (FPI) already looked into the possible applications of broad leaved wood materials in glue laminated frame structures [6, 14]. The two applicable species mentioned in their work are poplar and black locust. From a strength point of view, black locust is the most desirable; however, hybrid poplars are more favorable in terms of figure and dimensional properties. The raw material of the first building of this sort, using layered-cemented three-point arc framed was hybrid poplar. In addition, even presently, there are family houses at the Hungarian Great Plane with poplar-based roof structure, what reason is the availability of poplar raw material at the region.

Apart from these, numerous European and North American examples exist for using different wood species than coniferous. There have been a number of experimental attempts on using broad leaved wooden materials for structural purposes. Hernandez et al. [8] reported the construction of a vehicular bridge with a glue laminated structure of tulip tree. Another example is presented by the collaboration of the Swiss architecture company, Bernath and Widmer with other experts (Hermann Blumer, Michael Koller, Bergauer Holzbau GmbH, Heiri Bühner), who constructed a three-story youth hostel of oak logs in Schaffhausen province near Büttenhardt. In summation, experts are constantly examining the possible usage of stratum raw materials, which could open new horizons in wood construction, beyond the conventional coniferous-based methods.

To create safe poplar structures, thorough examination of basic stress factors, like tensile compressive and bending strength followed by the different analysis of the full-sized specimen including the thermo-technical attributes. In the case of full structures where the overall performance depends on the interaction of the adjacent materials and their features, these thermo-technical and strength tests and durability comprise the basis of the examination.

This article focuses on introducing only on some of the important examined attributes, such as strength and thermodynamic differences between poplar and spruce. The authors are aware that deeper analysis of more features is necessary for the applicability but the article does not touch upon these due to space limitations.

MATERIAL AND METHODS

In Hungary, poplar cover 1,5 million ha, accounting for the 9,6 %-a of the full forest area. Every year 1,3...1,5 million m³ poplar raw materials are processed which comprises 23...25 % of all wood cutting. To ensure good quality, poplar plantations have to be branch cut up to 6 meter height what can be called pruning [11].

The coniferous wood species ratio is very low in Hungarian forest contrast to the Siberian forests, and also to the west — and north European forests. Because of this fact high amount of the construction wood is imported in building market. However, Hungary has valuable broadleaved wood species such as poplar (*Populus Euramericana* cv. Pannonia).

From the 1980's more and more hybrid poplar species have been genetically improved, cutting back the share of then-popular I 214 Italian poplar. Examining the plantation data of the poplar species in the 90's, the *Populus Euramericana* proves to have had the biggest share (almost 50 %) on the market [13].

Fundamental differences can be observed among certain poplar clones in density, strength, and figure and also in durability. In the table 1 below the attributes of the most common poplar clones and the control variables are highlighted.

Among the mechanical properties density and strength have crucial importance. Bending strength plays a crucial role among strength features. *Populus Euramericana* (Pannónia) was selected due to its excellence in these two defining parameters along with its figural properties, durability and quantity. Its Hungarian ratio is remarkably high; it is the most important poplar species of the plantation-type poplar growing [13].

Due to the lower mechanical properties of poplar the dimensions of the cross section could expectedly be changed as the distance of studs from each other.

Mechanically the wall should not be significantly weaker than the original construction build with coniferous studs and top and bottom elements.

MECHANICAL PROPERTIES

The utilization of the different wood species depends on their physical and mechanical properties. In general, the strength of poplar wood falls below that of coniferous, but for certain species the differences is not substantial. Examinations by the Witmann and Pluzsik [14] provided strong correlation between the mechanical properties of poplar and their volume mass. According to their findings, the poplar species whose absolute dry volume mass reaches or exceeds 400 kg/m³ can effectively replace coniferous in strength-stressed structures and in structural units. Taking into account the literature and our test results, these apply to the *Populus Euramericana*. The comparison investigation results also reveal that the density of wood highly depends on the soil of planting location and the volume of precipitation.

We conducted our tests on 50 *Populus Euramericana* specimens prepared in accordance with the standards based on the following strength groups:

- tensile strength
- compressive strength
- shear strength
- bending strength
- impact strength

SCREW HOLDING STRENGTH

There is only few literature with exact information about the nail and screw holding strength of the *Populus Euramericana* but there is indication that their nail holding strength is 5...10 % lower than that of pines [5]. Due to the number of species, the screw holding strength of the hybrid poplar should be measured experimentally, in parallel with pine test units. The last valid standard (MSZ EN 1382) gives an exact description of the examination that can be conducted with arbitrary nail and screw properties so that specific values can be assigned to the joints the most likely to be used.

Thermal conductivity

Our research also examined the conventional thermal conductivity of *Populus Euramericana* compared that of the spruce, the most widely used wood species in light frame wood construction. Minimizing the thermal bridges is essential when designing the wall structure. There is a huge difference between the thermal conductivity of the wall frame and the insulation materials.

The frame in the wall structure are located every 62,5 cm. This wall structure relates back to the 125 cm table division. The usual 40...50 (45) mm thick studs create a substantial thermal bridge in the wall. 16,5 % of the full wall surface comprises wood compared to insulation material [12]. The bigger the

Table 1

Mechanical properties of polar species (Tóth, 2006; Molnár, 1999) [10, 13]
Механические свойства полярных видов (Tóth, 2006; Molnár, 1999) [10, 13]

Name	Density [kg/m ³]	Mechanical properties				Elastic modulus [MPa]	Hardness	
		[MPa]					[MPa, Brinell]	
		shear	compressive	bending	tensile		butt	side
I-214	330	6,4	22,5	52	44,3	5330	21,9	8,3
Villafranca	350	6,9	32	64	46,2	5600	19,3	9,9
Triplo	360	–	26,6	57	64,1	–	22,8	7,7
BL-Costanzo	375	7,5	36,9	75,1	59,6	6160	25,4	11,3
Koltay	390	–	–	56	–	–	–	–
Kopecky	390	7,4	33	70,7	56,1	5620	20,6	12,5
Parvifol	400	–	32,9	66,3	75	7830	24,8	9,8
Agathe-F	405	6,9	29,6	58	44,5	5200	20,7	11,7
I-273	410	8,1	32,8	72,2	–	5690	28	13,9
Pannónia	410	8,3	32,6	67,4	56,2	6510	20,6	10,8
Robusta	419	8,1	30,2	66,9	74,4	7500	22,8	7,7
Unal	420	–	–	–	–	–	–	–
White poplar	450	7,8	38,3	67,5	82,3	8250	27	–
Black poplar	450	6	35	65	77	8800	30,5	–
Trembling poplar	450	6,8	32,5	56	75	7800	23	–
Spruce	470	6,7	50	78	90	11000	32	–
Scotch pine	520	10	56	80	104	12000	40	19

difference in thermal conductivity the bigger the thermal bridge effect in the structure. The thermal conductivity of the insulation material is 0,04 W/mK compared to 0,12 W/mK of the spruce studs according to the literature. In accordance, on one sixth of the surface the coniferous material determines the thermal conductivity while the rest of the surface is dominated by the properties of the insulation material in terms of thermal behavior.

If the spruce material is replaced by poplar, the thermal bridge effect changes by the difference between the spruce and poplar thermal conductivity.

In the frame of another project, we also aimed for constructing a test building that makes identifying every step of the necessary technological processes possible. Manufacturing the building blocks requires industrial usage of the new material, and assembling and joining the structures also differs from the spruce technology. Testing and measuring the real stress results become possible on the full-size structure, especially regarding the thermal behavior of the building. Determining the value of low energy need is also possible.

RESULTS

MECHANICAL PROPERTIES

The test results have a strong correlation with density. In numerous cases, the density of *Populus Euramericana* reaches or even exceeds 400 kg/m³. Using this material for studs in structural applications is also possible, thus it can replace spruce in certain structural units. Our test results are summarized in

table 2. In structural materials bending strength is the most important property. According to our tests, the *Populus Euramericana* should be further examined as raw material for light frame wall construction as its key strength properties approach those of the spruce. It is important to examine which spruce parts can be replaced in the wall structure system, as well as how the dimension of these parts would change.

The strength test results of *Populus Euramericana* show favorable values; in addition it is available in high quantities. It is reasonably priced and it is a raw material relatively easy to work with. Due to its low natural resistance, the *Populus Euramericana* needs proper protection as well.

Screw holding strength

Our screw holding strength analysis was conducted in accordance with the latest corresponding standards. Table 3 shows the test results of the *Populus*

Table 2

Comparison of mechanical properties
Сравнение механических свойств

Name	Poplar	Spruce
	$\sigma_h - u_{12\%}$ (N/mm ²)	$\sigma_h - u_{12\%}$ (N/mm ²)
Tensile strength	52,49	90
Compressive strength	38,51	50
Shear strength	5,24	6,7
Bending strength	57,04	78
Impact strength	3,65	4,6

Table 3

Result of screw holding strength tests of Populus Euramericana
Прочность на сжатие винта Populus Euramericana

Name	Butt [N/mm]	Serial 1 [N/mm]	Serial 2 [N/mm]	Serial 3 [N/mm]	Serial 4 [N/mm]
Minimum	20,00	47,50	47,50	40,00	50,00
Maximum	62,50	92,50	90,00	95,00	102,50
Average	45,70	63,80	63,60	65,40	66,26
Scatter	8,84	12,31	11,92	11,52	9,86
Variance	78,07	151,59	142,13	132,74	97,25

Euramericana test pieces — measurements included 1 from butt direction, 2–2 screw tests from radial and tangential direction.

THERMAL CONDUCTIVITY

During the tests we prepared 20 test specimens per wood species whose corresponding thermal conductivity are shown in table 4. The specimens had been air conditioned in a climate chamber on normal climate (20 °C and 65 % relative humidity). To be able to compare them, the specimens were stored and measured the same way with the same methods.

The data clearly indicates that the thermal conductivity values of the poplar are more favorable. Comparing our test results with the literature we arrive to an even more desirable conclusion: according

to our measurements the difference between the two wood species in terms of thermal coefficient is nearly 6 %. During the design process when using spruce the usual values vary between 0,13...0,15 W/mK, in contrast our measurement showed only 0,110 W/mK.

The need for technological change compared to spruce techniques is going to be an important topic to examine during the research, as well as finding out whether the extra technology input is proportional to the benefits derived from using poplar instead of spruce.

CONCLUSION

MECHANICAL PROPERTIES

All of the mechanical properties of poplar showing weaker results than coniferous can be compensate

Table 4

Thermal conductivity of poplar and spruce specimens
Теплопроводность образцов тополя и ели

Specimen id.	Thermal conductivity [W/mK]	Density [g/cm ³]	Specimen id.	Thermal conductivity [W/mK]	Density [g/cm ³]
Poplar 1	0,099	0,319	Spruce 1	0,087	0,397
Poplar 2	0,105	0,335	Spruce 2	0,091	0,409
Poplar 3	0,106	0,343	Spruce 3	0,090	0,417
Poplar 4	0,105	0,357	Spruce 4	0,092	0,401
Poplar 5	0,101	0,346	Spruce 5	0,095	0,428
Poplar 6	0,100	0,340	Spruce 6	0,092	0,405
Poplar 7	0,112	0,414	Spruce 7	0,091	0,406
Poplar 8	0,098	0,410	Spruce 8	0,110	0,491
Poplar 9	0,117	0,406	Spruce 9	0,128	0,515
Poplar 10	0,113	0,420	Spruce 10	0,126	0,516
Poplar 11	0,099	0,405	Spruce 11	n.a.	0,517
Poplar 12	0,108	0,406	Spruce 12	0,124	0,503
Poplar 13	0,106	0,407	Spruce 13	0,124	0,519
Poplar 14	0,105	0,409	Spruce 14	0,128	0,529
Poplar 15	n.a.	0,410	Spruce 15	0,125	0,532
Poplar 16	0,096	0,421	Spruce 16	0,122	0,519
Poplar 17	0,099	0,422	Spruce 17	0,117	0,514
Poplar 18	0,098	0,412	Spruce 18	0,119	0,511
Poplar 19	0,097	0,419	Spruce 19	0,117	0,505
Poplar 20	0,103	0,416	Spruce 20	0,114	0,497
Average	0,104	0,391	Average	0,110	0,477

with higher dimensions or higher processing technologies. The poplar material used for construction material have to have higher density than 400 kg/m³.

SCREW HOLDING STRENGTH

According to the preliminary test results, the screw holding strength of the poplar raw material approximates that of the spruce. Special attention should be taken to the number, size and location of the joints in the important corner units. The point of view this aspect the *Populus Euramericana* could be substitute the spruce.

Thermal conductivity

Examination of the thermal coefficients revealed that the *Populus Euramericana* shows better properties leading to decreased thermal bridge effect in wall structures constructed of poplar rib frame. In the wall construction the poplar causes lower heat bridge effect thus the heat loss of the whole structure is lower. In case of a successful project the poplar could be the rival of the widely used coniferous row material of wood residential buildings/

ACKNOWLEDGEMENT

This study was supported by the EFOP-3.6.2-16-2017-00010 project sponsored by the EU and the European Social Foundation.

References

- [1] Balatinecz J., Kretschmann D.E. Properties and utilization of poplar wood/ Donald I. Dickmann et al. *Poplar Culture in North America*. NRC Research Press, Ottawa, 2001, pp. 277–291.
- [2] Balatinecz J., Kretschmann D.E., Leclercq A. Achievements in the utilization of poplar wood-guideposts for the future. *The forestry chronicle*, 2001, no. 77 (2), pp. 265–269.
- [3] Ball J., Carle J., Lungo A.D. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. *Un-asylva*, 2005, 56 (2), pp. 3–9.
- [4] Cassens D.L., Hunt M.O., Barnes H.M., Thompson W.S. Yellow-poplar lumber for exterior architectural applications in new construction and for historical restoration. *Finishing and Restoring Wood and Structures*, 2008, FNR-410-W, 6 p.
- [5] Csizmadia P. A cser, akác és nyárfélék ipari feldolgozásának jelenlegi helyzete és további lehetőségei. (Present situation and opportunities of industrial utilization of Turkish oak acacia and poplars) *Faipari Kutatások*, Budapest, Faipari Kutató Intézet, 1969, v. 1, pp. 67–74.
- [6] Erdélyi Gy., Wittmann Gy. A hazai természetű nemesnyárak ipari hasznosíthatósága. (Industrial usage of domestic hybrid poplars) *Wood Researches Bulletin*, Budapest, Wood Research Institute in Hungary, 1973, pp.109–124.
- [7] Fraanje P.J. Poplar wood for purlins; an evaluation of options and environmental aspects. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 1998, v. 56, pp. 163–169. DOI: 10.1007/s001070050291
- [8] Hernandez R., Ritter M.A., Moody R.C., Hilbrich Lee P.D. Yellow poplar glued-laminated timber: Product development and use in timber bridge construction. Conference book: National Conference on Wood Transportation Structures, Madison, Wisconsin, 1996, pp. 411–417.
- [9] Kurt R. Suitability of three hybrid poplar clones for laminated veneer lumber manufacturing using melamine urea formaldehyde adhesive. *Bioresources*, 2010, no. 5(3), pp. 1868–1878.
- [10] Molnár S. *Faanyagismerettan*. (Wood Science). Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 1999.
- [11] Molnár S., Bariska M. *Magyarország ipari fája*. (Industrial woods of Hungary). Budapest, Szaktudás Kiadó Ház Rt., 2002.
- [12] Pásztor Z., Peralta P., Molnar S., Peszlen I. Modeling the Hygrothermal Performance of Selected North American and Comparable European Wood-Frame House Walls. *Energy & Buildings*, 2012, v. 49 (1), pp. 142–147.
- [13] Tóth, B. *Nemesnyár-fajták ismertetője*. (Description of hybrid poplars). Budapest, Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., 2006.
- [14] Wittmann Gy., Pluzsik A. A faanyagú rétegelt-ragasztott tartószerkezetek hazai alkalmazásának új eredményei. (Novel application of glue laminated wood constructions) *Wood Researches Bulletin*, Budapest, Wood Research Institute in Hungary, 1975, pp. 61–70.
- [15] *Improving lives with poplars and willows — Synthesis of Country Progress Reports — Activities Related to Poplar and Willow Cultivation and Utilization*. 2008 through 2011. Working Paper IPC 2008–2011, 2012.

Author's information

Pastori Zoltan — Ph. D, Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Czupy Imre — Ph. D, Director of Institute of Forest and Environmental Techniques at the University of Sopron, Sopron, Hungary, czupy.imre@uni-sopron.hu

Gorbacheva Galina Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of Department of Wood Science and Technology, BMSTU (Mytishchi branch), gorbacheva@mgul.ac.ru

Received 14.07.2017

ПРИМЕНЕНИЕ ДРЕВЕСИНЫ ТОПОЛЯ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТОЕК В КАРКАСНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ВМЕСТО ДРЕВЕСИНЫ ХВОЙНЫХ ПОРОД

З. Пастори¹, И. Цзупи², Г.А. Горбачева³

¹ Шопронский университет, Инновационный центр, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky utca 4.

² Шопронский университет, Институт леса и природопользования, Hungary, 9400 Sopron, Bajcsy-Zsilinszky utca 4.

³ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Цель работы заключалась в исследовании возможности замены элементов каркасных конструкций жилых домов из древесины хвойных пород на элементы из древесины тополя, а также в сравнении их основных свойств. Далеко не все элементы из древесины хвойных пород можно заменить, однако имеются стойки каркаса, которые скрыты внутри общей конструкции и не подвергаются большим нагрузкам. Проведены исследования некоторых наиболее важных факторов, определяющих использование тополя в легких каркасных конструкциях стеновых панелей. Элемент, выбранный для замены в конструкции стены, был рассмотрен в следующих аспектах: механические свойства, термодинамические свойства, прочность крепления шурупами. В настоящее время одиe из важнейших вопросов — тепловое сопротивление конструкции. Стойки каркаса являются тепловыми мостами между теплоизоляционными материалами внутри каркаса. Стойки каркаса из древесины тополя имеют более низкую теплопроводность по сравнению с древесиной хвойных пород, следовательно, эффект теплового моста проявляется в меньшей мере. В результате исследования всей конструкции, установлено, что тополь является подходящим материалом для каркасных конструкций при плотности выше 400 кг/м³.

Ключевые слова: каркасные конструкции из древесины, тополь *Populus Euramericana*, теплопроводность, прочность крепления шурупами

Ссылка для цитирования: Пастори З., Цзупи И., Горбачева Г.А. Применение древесины тополя для изготовления стоек в каркасных конструкциях вместо древесины хвойных пород // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 89–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-89-94

Список литературы

- [1] Balatinecz J., Kretschmann D.E. Properties and utilization of poplar wood/ Donald I. Dickmann et al. Poplar Culture in North America. NRC Research Press, Ottawa, 2001, pp. 277–291.
- [2] Balatinecz J., Kretschmann D.E., Leclercq A. Achievements in the utilization of poplar wood-guideposts for the future. The forestry chronicle, 2001, no. 77 (2), pp. 265–269.
- [3] Ball J., Carle J., Lungo A.D. Contribution of poplars and willows to sustainable forestry and rural development. Unasylyva, 2005, 56 (2), pp. 3–9.
- [4] Cassens D.L., Hunt M.O., Barnes H.M., Thompson W.S. Yellow-poplar lumber for exterior architectural applications in new construction and for historical restoration. Finishing and Restoring Wood and Structures, 2008, FNR-410-W, 6 p.
- [5] Csizmadia P. A cser, akác és nyárfélék ipari feldolgozásának jelenlegi helyzete és további lehetőségei. (Present situation and opportunities of industrial utilization of Turkish oak acacia and poplars) Faipari Kutatások, Budapest, Faipari Kutató Intézet, 1969, 1, pp. 67–74.
- [6] Erdélyi Gy., Wittmann Gy. A hazai termesztési nemesnyárak ipari hasznosíthatósága. (Industrial usage of domestic hybrid poplars) Wood Researches Bulletin, Budapest, Wood Research Institute in Hungary, 1973, pp. 109–124.
- [7] Fraanje P.J. Poplar wood for purlins; an evaluation of options and environmental aspects. Holz als Roh- und Werkstoff, 1998, v. 56, pp. 163–169. DOI: 10.1007/s001070050291
- [8] Hernandez R., Ritter M.A., Moody R.C., Hilbrich Lee P.D. Yellow poplar glued-laminated timber: Product development and use in timber bridge construction. Conference book: National Conference on Wood Transportation Structures, Madison, Wisconsin, 1996, pp. 411–417.
- [9] Kurt R. Suitability of three hybrid poplar clones for laminated veneer lumber manufacturing using melamine urea formaldehyde adhesive. Bioresources, 2010, no. 5 (3), pp. 1868–1878.
- [10] Molnár S. Faanyagismeret. (Wood Science). Budapest, Mezőgazdasági Szaktudás Kiadó, 1999.
- [11] Molnár S., Bariska M. Magyarország ipari fái. (Industrial woods of Hungary). Budapest, Szaktudás Kiadó Ház Rt., 2002.
- [12] Pásztor Z., Peralta P., Molnár S., Peszlen I. Modeling the Hygrothermal Performance of Selected North American and Comparable European Wood-Frame House Walls. Energy & Buildings, 2012, v. 49 (1), pp. 142–147.
- [13] Tóth, B. Nemesnyár-fajták ismertetője. (Description of hybrid poplars). Budapest, Agroinform Kiadó és Nyomda Kft., 2006.
- [14] Wittmann Gy., Pluzsik A. A faanyagú rétegelt-ragasztott tartószerkezetek hazai alkalmazásának új eredményei. (Novel application of glue laminated wood constructions) Wood Researches Bulletin, Budapest, Wood Research Institute in Hungary, 1975, pp. 61–70.
- [15] Improving lives with poplars and willows — Synthesis of Country Progress Reports — Activities Related to Poplar and Willow Cultivation and Utilization. 2008 through 2011. Working Paper IPC 2008–2011, 2012.

Сведения об авторах

Пастори Золтан — директор Инновационного центра, Шопронский университет, pasztory.zoltan@uni-sopron.hu

Цзупи Имре — директор Института леса и природопользования, Шопронский университет, г. Шопрон, Венгрия, czuru.imre@uni-sopron.hu

Горбачева Галина Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), gorbacheva@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 14.07.2017 г.

ПРОПИТОЧНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ АНТИФРИКЦИОННЫХ СВОЙСТВ КОНСТРУКЦИОННОГО МАТЕРИАЛА НА ОСНОВЕ МОДИФИЦИРОВАННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Д.А. Паринов

Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, 394087, Воронежская область, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8

dmitryparinov@mail.ru

При изготовлении деталей трения из прессованной древесины для снижения коэффициента трения и увеличения износостойкости в древесине должно находиться 7...9 % от массы сухой древесины антифрикционной смазки, состоящей из маслянистой основы (минеральное масло, солидол, парафин, церезин и т. д.) с добавками наночастиц графита и дисульфида молибдена. Если содержание смазки в деревянном подшипнике менее 7 %, коэффициент трения увеличивается в несколько раз. При содержании смазки более 9 % коэффициент трения не уменьшается, но снижаются прочность и износостойкость, так как смазка является пластификатором и размягчает древесину. Недостатком всех известных способов пропитки древесины является то, что они не позволяют получить концентрацию маслянистой жидкости менее 40 % по отношению к массе сухой древесины, в древесину движется чистая жидкость без растворителя. Если использовать растворитель, возникает трудноразрешимая проблема — удаление растворителя из древесины. Преимуществом предложенного автором способа пропитки является возможность вводить антифрикционные маслянистые составы в древесину в малых количествах без применения растворителей с равномерным распределением смазки по всему объему заготовки. Это позволяет получать подшипники скольжения с коэффициентом трения 0,05 и линейным износом $1,12 \cdot 10^{-9}$. Проводились экспериментальные исследования на установке для пропитки древесины с торца под давлением аэрозольным способом. Эксперименты доказали, что можно ввести в древесину жидкую и консистентную смазку в состоянии аэрозоля при равномерном ее распределении по заготовке длиной 800 мм, при этом концентрация смазки в заготовке составляет от 2 до 12 %, с разбросом по длине до 1,5 %.

Ключевые слова: древесина, пропитка, аэрозоль, установка, антифрикционные составы, самосмазка

Ссылка для цитирования: Паринов Д.А. Пропиточная установка для повышения антифрикционных свойств конструкционного материала на основе модифицированной древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 95–100. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-95-100

Прессованная древесина используется в узлах трения как конструкционный материал для изготовления подшипников скольжения, втулок, вкладышей в различных машинах и механизмах. Одним из условий надежной работы узлов трения и долговечности подшипников из прессованной древесины является наличие смазочного материала, уменьшающего коэффициент трения и позволяющего работать на самосмазке.

Область применения деревянных подшипников скольжения — узлы трения подъемно-транспортного оборудования, насосы, дорожно-строительные машины, сельхозмашины. В подъемных кранах различных систем — мостовых, консольных, кранбалках — используют втулки и вкладыши, изготовленные из прессованной древесины. Предприятия, внедрившие прессованную древесину в узлах различных видов кранов, это: Воронежский завод КПО им. Калинина, Лысьвенский металлургический завод, Славянский завод «Строймаш» и др. На предприятиях цементной промышленности и железобетонных конструкций используются узлы трения конвейеров, транспортеров, шнеков, роулангов. Внедрили прессованную древесину в узлы трения своего оборудования «Воронежсельмаш», ТЭЦ-1, СК, ЖБИ-1 и др. В узлах

трения насосов и компрессоров Бутурлиновского маслозавода (Воронежская область), Ждановского коксохимического завода используются вкладыши из прессованной древесины.

Воронежский завод им. Калинина, Славянский завод «Строймаш» применяют деревянные узлы трения кузнечно-прессового оборудования, работающего при ударных нагрузках.

Анализ научно-исследовательских работ, производственных испытаний свидетельствует о высокой работоспособности прессованной древесины, работающей на самосмазке. Успешно прошли испытания подшипники скольжения из прессованной древесины, пропитанные чистым минеральным маслом МС-20, которые применяли вместо шарикоподшипников № 204, работающих на открытом воздухе в условиях абразивной среды (песок, бой стекла, доломит). Опытно-промышленной проверкой установлено, что срок службы подшипников из антифрикционной прессованной древесины (АПД) превысил срок службы шарикоподшипников в 2–3 раза, при этом стоимость подшипников из АПД в 3 раза меньше [1, 2].

Основным достоинством прессованной древесины является способность работать на самосмаз-

ке, что обеспечивает низкий коэффициент трения при пуске и остановке механизмов. Подшипники скольжения самосмазывающиеся различают: по виду рабочей поверхности (цилиндрические, сферические, конические), по конструкционному исполнению (с внутренним кольцом, без него), по воспринимаемой нагрузке (радиальные, радиально-упорные) [3].

Смазку вводят непосредственно в узел трения. Существующие технологии пропитки прессованной древесины позволяют вводить смазочный материал в готовый подшипник скольжения. В процессе трения из подшипника выделяется необходимое для работы узла количество смазки. К данным технологиям относятся пропитка маслом методом горяче-холодных ванн и пропитка в автоклаве. Эти способы применимы только к уже готовым изделиям (деталям трения) из прессованной древесины.

В настоящее время появилась возможность введения смазочного материала непосредственно в заготовку древесины перед прессованием. Это способ аэрозольной пропитки под давлением. Его преимущества в том, что смазочный материал вводят в натуральную древесину до прессования, тем самым обеспечивая более полную и качественную пропитку [4, 5].

Процесс пропитки является плохо контролируемым и неприменим для древесины плотностью 1200 кг/м³ и выше. Пропитка натуральной древесины проще, однако существующие способы и установки не позволяют дозированно вводить смазку в древесину. Введение смазки в малых количествах (3...10%) с равномерным распределением по всему сечению заготовки ранее было невозможно. Цель настоящей работы — создание способа и конструкции установки для введения смазки в натуральную древесину в виде аэрозоля [6]. Древесина является сложным капиллярно-пористым материалом, поэтому введение аэрозоля возможно лишь на специально сконструированной установке, схема которой приведена на рис. 1.

Особенность конструкции промышленной установки в том, что 16 заготовок древесины размером 80×80×700 мм одновременно пропитываются аэрозольной смесью масла и воздуха до необходимой степени содержания масла в древесине (до 10...12% от массы сухой древесины).

Аэрозольная установка состоит из станины, на которой закреплены две плиты (подвижная и неподвижная) для обеспечения герметичного закрепления с торцов 16 заготовок за счет гидросистемы. К торцам заготовок со стороны неподвижной

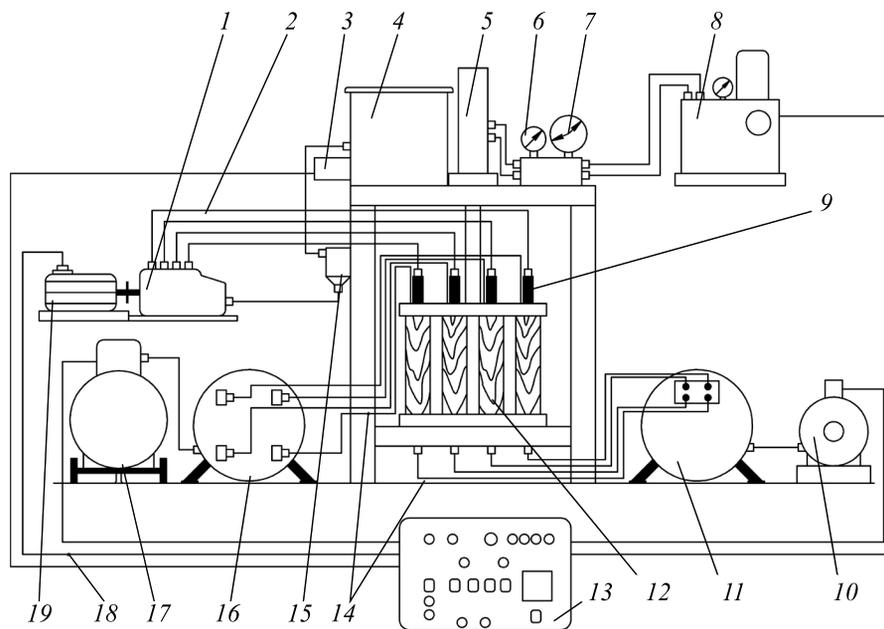


Рис. 1. Аэрозольная установка для пропитки древесины: 1 — топливный насос высокого давления (ТНВД); 2 — трубопровод; 3 — теплоэлектронагревательные элементы; 4 — бак для пропитывающего раствора; 5 — гидроцилиндр; 6 — манометр контроля давления прижима; 7 — электроконтактный манометр; 8 — гидростанция; 9 — форсунки; 10 — вакуумный насос; 11 — ресивер для вакуума; 12 — образцы древесины; 13 — пульт управления; 14 — пневмошланги; 15 — фильтр; 16 — ресивер для давления; 17 — пневмокомпрессор; 18 — электропровод; 19 — электродвигатель для ТНВД

Fig. 1. Aerosol plant for impregnating wood: 1 — high-pressure fuel pump (fuel pump); 2 — pipeline; 3 — heat-electric heating elements; 4 — tank for impregnating solution; 5 — the hydrocylinder; 6 — pressure gauge for pressure control; 7 — electrocontact manometer; 8 — hydroelectric station; 9 — injectors; 10 — the vacuum pump; 11 — receiver for vacuum; 12 — samples of wood; 13 — the control panel; 14 — pneumatic hoses; 15 — the filter; 16 — receiver for pressure; 17 — pneumocompressor; 18 — electric wire; 19 — electric motor for injection pump

плиты через пневмоклапаны от распределителя подводится аэрозоль, который получен в форсунках при помощи топливного насоса высокого давления. С другой стороны к торцам подведен вакуум через анализаторы контроля масловоздушной смеси, которые при достижении требуемой степени пропитки заготовки отключают пневмоклапан со стороны нагнетания смеси. Основные параметры и характеристики установки представлены в таблице [7].

Конструкция обеспечивает:

- сквозную пропитку заготовок до содержания смазки 12 % от массы сухой древесины;
- удобство в работе, эксплуатации и обслуживании;
- экологическую чистоту производства.

Т а б л и ц а

Основные параметры установки
Basic installation parameters

Наименование параметров	Данные
Тип	Стационарный
Размер заготовок	80×80×700 мм
Количество заготовок	16
Давление аэрозоли	1,0–1,5 МПа
Вакуум	80 кПа
Потребляемая мощность	3,0 кВт
Потребляемое напряжение	380 В
Длительность операции	25 мин
Габариты	2400×770×2000 мм
Масса установки	800 кг
Гарантийный срок	12 мес
Температура вспышки пропитывающей	Не ниже 80 °С
Температура эксплуатации	+15...+400 °С

Испытания по пропитке брусков в аэрозольной установке проводятся по следующей методике. Березовые бруски размером 80×80×700 мм в количестве 16 шт., с влажностью 5...8 %, прогретые до температуры 70 ± 50 °С, устанавливаются в ячейки пресс-формы. Для герметизации верхнего и ниж-

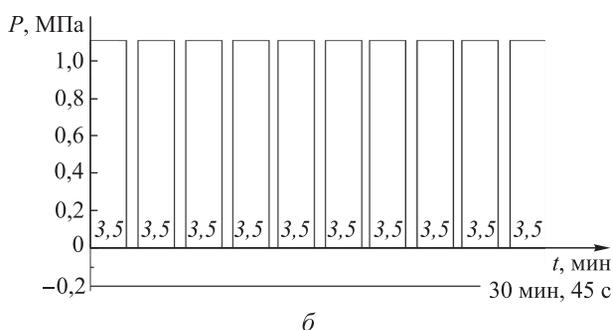
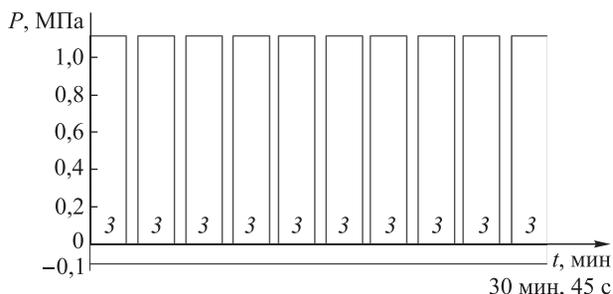


Рис. 2. Циклограммы аэрозольной пропитки березовых брусков: а — бруски без видимых пороков; б — с сучками до 20 % объема бруска или имеющие косослой [10, 11]

Fig. 2. Cyclograms of aerosol impregnation of birch bars: а — without defects; б — with knots up to 20 % of the bar volume or having an oblique layer [10, 11]

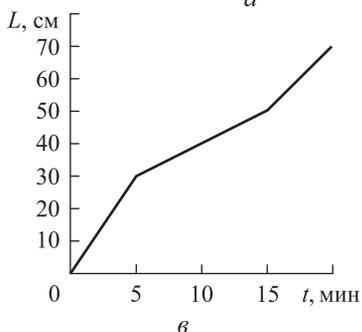
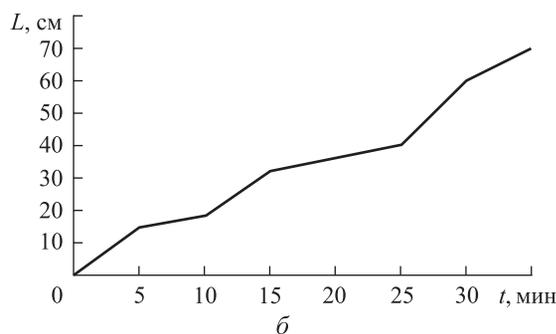
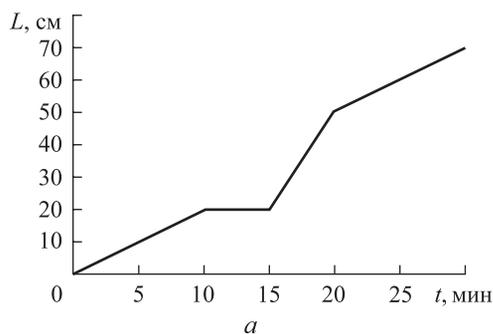


Рис. 3. Заполнения маслом брусков: а — без пороков; б — с косослоем; в — с сучками до 20 % объема бруска

Fig. 3. Curves fill the oil bar: а — without defects; б — with a slant; в — with knots up to 20 % of bar volume

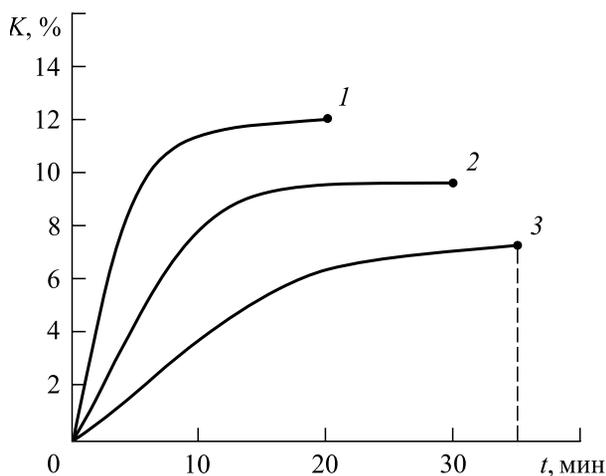
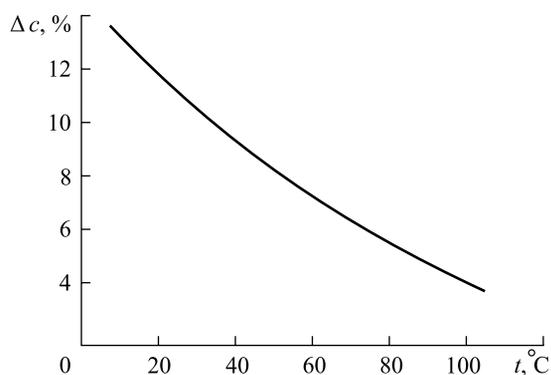


Рис. 4. Содержание масла в брусках после пропитки: 1 — бруски без пороков; 2 — бруски с сучками до 20 % объема; 3 — бруски с косослоем

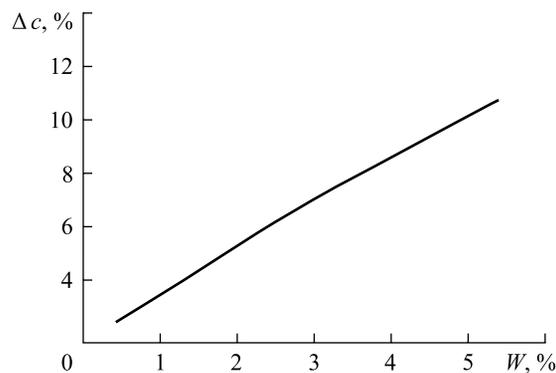
Fig. 4. Curves showing the oil content in bars after impregnation: 1 — bars without defects; 2 — bars with knots up to 20 % of volume; 3 — bars with cross-bed

него торца бруска используется гидросистема высокого давления, при этом происходит вдавливание торцов брусков в конусообразные ячейки и уплотнение их по периметру. Каждая ячейка системой трубопроводов подключена к ресиверам: верхние через форсунки трубопроводами на ТНВД, нижние к вакуумному ресиверу. Аэрозоль создается в ячейке под давлением за счет ТНВД, форсунок и компрессора. При включении в начале пропитки происходит открытие вакуумного клапана и создание вакуума в каждой нижней ячейке. На протяжении всего цикла поддерживается разрежение 80 кПа за счет вакуумного насоса, который подключен к ресиверу и работает в автоматическом режиме [6].

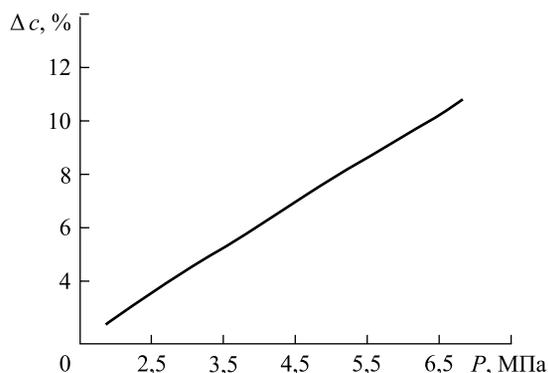
Подача аэрозоля осуществляется в верхние ячейки циклически, за счет ТНВД и форсунок, установленных на каждой ячейке, от ресивера посредством пневмоклапанов. После завершения операции по пропитке выключаются все пневмоклапаны и включаются гидросистема, происходит размыкание пресс-формы и бруски извлекаются из



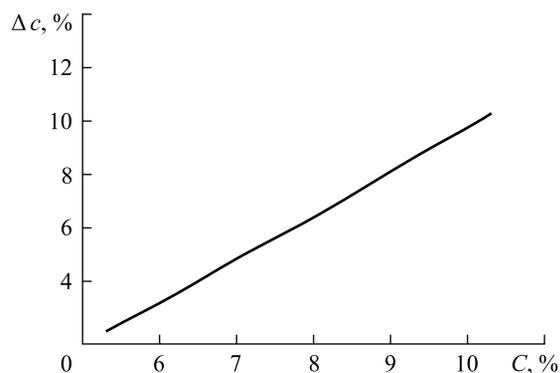
a



b



б



г

Рис. 5. Зависимость содержания смазки в древесине Δс, % от различных факторов: а — температуры t, °С; б — давления P, МПа; в — влажности W, %; г — содержания модификатора в древесине C, %.

Fig. 5. Technological parameters of the plant: a — the dependence of the lubricant content in the wood (Δс, %) on the temperature t, °С; б — the dependence of the lubricant content in the wood (Δс, %) on the pressure P, МПа; в — the dependence of the lubricant content in the wood (Δс, %) on humidity W, %; г — the dependence of the lubricant content in the wood (Δс, %) on the content of the modifier in the wood C, %.

установки. Процент пропитки брусков определяется путем выборочного взвешивания [8, 9].

На рис. 2 представлены циклограммы аэрозольной пропитки березовых брусков по опытным режимам, предварительно подобранным на лабораторной установке.

Чтобы определить время, необходимое для аэрозольной пропитки во время пропитки, для каждой группы брусков, измеряли равномерность заполнения маслом бруска по всей длине. Для этого через каждые пять минут установку останавливали, выбирали три бруска и по длине бруска высверливали насквозь отверстия диаметром 3,5 мм, шупом контролировали присутствие масла. На рис. 3 представлены кривые заполнения брусков маслом [9].

Когда найдено время пропитки для каждой группы брусков и был рассмотрен процесс заполнения маслом всей длины бруска, необходимо определить содержание масла в древесине после пропитки.

Для этого отбирали по три бруска из каждой группы и весовым методом определяли процент содержания масла в бруске. Результаты замеров представлены на рис. 4. Технологические параметры работы установки приведены на рис. 5 [12].

Выводы

1. Разработанная и апробированная конструкция пропиточной установки позволяет вводить в древесину жидкую и консистентную смазку в виде аэрозоля с равномерным распределением ее по всему сечению заготовки на длину до 800 мм.

2. Технологические режимы пропитки обеспечивают введение смазки в концентрации от 2 до 12 % с разбросом по длине не более 1,5 %.

Список литературы

[1] Паринов Д.А., Шамаев В.А. Технология пропитки древесины на аэрозольной установке // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе: сб. науч. статей Первых Международных Лыковских научных чтений, посвя-

щенных 105-летию академика А.В. Лыкова. Москва, 22–23 сентября 2015. М.; Курск: Университетская книга, 2015. С. 314–316.

- [2] Чаадаев А.Е. Теоретические аспекты пропитки древесины под давлением. Научно-теоретический прогресс в деревообрабатывающей отрасли // ЦЧЭР: Тез. докл. науч. конф. Воронеж, 1900. 80 с.
- [3] Шамаев В.А. Модификация древесины: учебн. пособие. Воронеж: ВГЛТА, 2008. 396 с.
- [4] Невзорова А.Б. Подшипники скольжения самосмазывающиеся на основе модифицированной древесины (теория, технология и практика). Гомель: БелГУТ, 2011. С. 61–95.
- [5] Невзорова А.Б. Теоретические основы и технология механотрансформации древесины. Гомель: БелГУТ, 2003. С. 110–115.
- [6] Dong Y., Yan Y., Zhang S., Li J. Wood polymer nanocomposites prepared by impregnation with furfuryl alcohol and Nano-SiO₂, *BioResources*, 2014, v. 9, iss. 4, pp. 6028–6040.
- [7] Шамаев В.А., Смоляков А.И., Смирнов П.А. Прессованная древесина в машиностроении: справочник. Воронеж: ВГЛТА, 2005. 92 с.
- [8] Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Yudin R.V., Fomin A.A., Chernukhin R.V. Modeling the Digging Process of Tree Root System by the Mechanism with Hydropulse Drive. VII International Scientific Practical Conference «Innovative Technologies in Engineering» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 142, no. 1. DOI:10.1088/1757-899X/142/1/012090.
- [9] Lahtela V., Kärki T. Improving the UV and water-resistance properties of Scots pine (*Pinus sylvestris*) with impregnation modifiers. *European Journal of Wood and Wood Products / Holz als Roh und Werkstoff*, 2014, v. 72, iss. 4, pp. 445–452.
- [10] Fomin A.A., Gusev V.G., Yudin R.V., Timerbaev N.F., Retyunakiy O.Y. Mechanical Treatment of Raw Waste Lumber an Effective Way to Preserve the Ecology and Resources. VII International Scientific Practical Conference «Innovative Technologies in Engineering» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 142, no. 1. DOI:10.1088/1757-899X/142/1/012090.
- [11] Kielmann, B.C., Adamopoulos, S., Militz, H., Koch, G., Mai, C. Modification of three hardwoods with an N-methylol melamine compound and a metal-complex dye, *Wood Science and Technology*, 2014, v. 48, iss. 1, pp. 123–136.
- [12] Zhang, M.X., Huang, J.W., Wang, N.Y. Modification of pine-wood / formaldehyde-urea resin composites using electron-beam radiation, *Applied Mechanics and Materials*, 2014, v. 454, pp. 187–189.

Сведения об авторах

Паринов Дмитрий Александрович — Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова, dmitryparinov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.08.2017 г.

IMPREGNATING UNIT FOR INCREASING THE ANTI-FRICTION PROPERTIES OF STRUCTURAL MATERIAL BASED ON MODIFIED WOOD

D.A. Parinov

Voronezh State Forestry Engineering University Named after G.F. Morozov, 394087, Voronezh, Timiryazev Str., 8
dmitryparinov@mail.ru

In the manufacture of friction parts molded timber to reduce friction coefficient and increasing the wear resistance of the wood should be 7...9 % by weight of dry wood antifriction composition consisting of an oily base (mineral oil, grease, paraffin, ceresin, etc.) with additives nanoparticles of graphite and molybdenum disulfide. If the grease content of the wooden bearing of less than 7 % of the coefficient of friction is increased by several times. When the lubricant content of more than 9 % of the friction coefficient is not reduced, but the reduced strength and wear resistance, as Grease is a plasticizer and softens the wood. A disadvantage of all known methods of impregnating wood is that they do not allow to obtain an oil concentration of less than 40 % by weight of dry wood, as a clean liquid timber moves without solvent. If a solvent is used, there is a tough problem of removing the solvent timber and the method becomes unsuitable for practical implementation. The advantage of this impregnation method is that it allows to introduce in the compositions antifriction oily wood in small quantities without the use of solvents with a uniform distribution of lubricant over the entire volume of the preform. This allows bearings with friction coefficient of 0,05, and the linear depreciation of $1,12 \cdot 10^{-9}$. We are conducting a pilot study on the installation of wood impregnation under pressure from the end of the aerosol method. Experiments have proven that it is possible to introduce liquid into the timber and the grease in an aerosol state with a uniform distribution of its preform length 800 mm, and the grease concentration in the preform is from 2 to 12 %, with a range in length up to 1,5 %.

Keywords: wood, impregnation, spray, installation, antifriction compounds, self-lubricating

Suggested citation: Parinov D.A. *Propitoch'naya ustanovka dlya povysheniya antifriktsionnykh svoystv konstruktsionnogo materiala na osnove modifitsirovannoy drevesiny* [Impregnating unit for increasing the antifriction properties of structural material based on modified wood]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 95–100. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-95-100

References

- [1] Parinov D.A., Shamayev V.A. Tekhnologiya propitki drevesiny na aerosol'noy ustanovke [Technology of impregnation of wood on an aerosol installation] Aktual'nyye problemy sushki i termovlazhnostnoy obrabotki materialov v razlichnykh otraslyakh promyshlennosti i agropromyshlennom komplekse. Sbornik nauchnykh statey Pervykh Mezhdunarodnykh Lykovskikh nauchnykh chteniy, posvyashchennykh 105-letiyu akademika A.V. Lykova Moskva, 22–23 sentyabrya 2015 g. [Actual problems of drying and termovlazhnostnoy processing materials in various industries and agro-industrial complex: Sat. sci. articles of the First International Lykov scientific readings dedicated to the 105th anniversary of Academician A.V. Lykov. Moscow, September 22–23, 2015], Moscow; Kursk: Universitetskaya kniga publ., 2015. pp. 314–316.
- [2] Chaadayev A.E. Teoreticheskiye aspekty propitki drevesiny pod davleniyem [Theoretical aspects of impregnation of wood under pressure. Scientific and theoretical progress in the woodworking industry] Nauchno teoreticheskiy progress v derevobrabatvyayushchey otrasli [Scientific and theoretical progress in the woodworking industry]. TSCHER: Tez. dokl. nauch. konf. [TSCHER: Tez. doc. sci. Conf.]. Voronezh, 1900, 80 p.
- [3] Shamayev V.A. Modifikatsiya drevesiny [Wood modification]. Voronezh: VGLTA publ., 2008, 396 p.
- [4] Nevzorova A.B. Podshipniki skol'zheniya samosmazvyayushchiesya na osnove modifitsirovannoy drevesiny (teoriya, tekhnologiya i praktika) [Sliding bearings self-lubricated based on modified wood (theory, technology and practice)]. Gomel': BelGUT publ., 2011, pp. 61–95.
- [5] Nevzorova A.B. Teoreticheskiye osnovy i tekhnologiya mekhanotransformatsii drevesiny [Theoretical foundations and technology of mechanotransformation of wood]. Gomel': BelGUT publ., 2003, pp. 110–115.
- [6] Dong Y., Yan Y., Zhang S., Li J. Wood polymer nanocomposites prepared by impregnation with furfuryl alcohol and Nano-SiO₂, *BioResources*, 2014, v. 9, iss. 4, pp. 6028–6040.
- [7] Shamayev V.A., Smolyakov A.I., Smirnov P.A. Pressovannaya drevesina v mashinostroyenii [Pressed wood in mechanical engineering]. Voronezh: VGLTA publ., 2005, 92 p.
- [8] Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Yudin R.V., Fomin A.A., Chernukhin R.V. Modeling the Digging Process of Tree Root System by the Mechanism with Hydropulse Drive. VII International Scientific Practical Conference «Innovative Technologies in Engineering» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 142, no. 1. DOI:10.1088/1757-899X/142/1/012090.
- [9] Lahtela V., Kärki T. Improving the UV and water-resistance properties of Scots pine (*Pinus sylvestris*) with impregnation modifiers. *European Journal of Wood and Wood Products / Holz als Roh und Werkstoff*, 2014, v. 72, iss. 4, pp. 445–452.
- [10] Fomin A.A., Gusev V.G., Yudin R.V., Timerbaev N.F., Retyunakiy O.Y. Mechanical Treatment of Raw Waste Lumber an Effective Way to Preserve the Ecology and Resources. VII International Scientific Practical Conference «Innovative Technologies in Engineering» IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, v. 142, no. 1. DOI:10.1088/1757-899X/142/1/012090.
- [11] Kielmann, B.C., Adamopoulos, S., Militz, H., Koch, G., Mai, C. Modification of three hardwoods with an N-methylol melamine compound and a metal-complex dye, *Wood Science and Technology*, 2014, v. 48, iss. 1, pp. 123–136.
- [12] Zhang, M.X., Huang, J.W., Wang, N.Y. Modification of pine-wood / formaldehyde-urea resin composites using electron-beam radiation, *Applied Mechanics and Materials*, 2014, v. 454, pp. 187–189.

Author's information

Parinov Dmitriy Aleksandrovich — Voronezh State Forestry Engineering University Named after G.F. Morozov, dmitryparinov@mail.ru

Received 18.08.2017

ИМПУЛЬСНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЯСЕНЯ ТОЛЩИНОЙ 50 ММ В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Г.Н. Курьшов¹, А.А. Косарин²

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

² ООО «Форсклад», 121359, город Москва, Партизанская улица, 40

kosarin2008@yandex.ru

Сделан обзор литературных источников по режимам и параметрам сушки пиломатериалов из древесины ясеня толщиной 50 мм. Приведены режимы сушки, зависящие от текущей влажности пиломатериалов, представленные в трудах Е.С. Богданова, А.И. Расева, П.С. Сергеевского и в ГОСТ 19773-84. Режимы различаются начальной и конечной температурой агента сушки, степенью насыщенности на начальном и конечном этапах процесса сушки. Процесс сушки, по разным источникам, включает в себя от 3 до 12 ступеней. Первые импульсные сушки пиломатериалов из древесины ясеня начались в 1995 г. (ООО «Интар», Москва) в модернизированной сушильной камере «Урал-72» с поперечно-горизонтальной циркуляцией. Приведены параметры данного режима сушки, а также сушка в конвективных сушильных камерах Учебно-производственных мастерских МГУЛ с поперечно-вертикальной циркуляцией агента сушки. Влажность древесины в процессе сушки определяли с помощью контрольных образцов, а развитие сушильных напряжений — по силовым образцам. Начальная влажность древесины определялась в соответствии с ГОСТ 16588 – 91. Применение импульсных режимов позволяет снизить потребление электроэнергии при сушке ясеня до 60 %.

Ключевые слова: пиломатериал из древесины ясеня, импульсная сушка, режимы сушки

Ссылка для цитирования: Курьшов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины ясеня толщиной 50 мм в конвективных сушильных камерах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 4. С. 101–105. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-101-105.

Ясень представляет собой род листопадных растений семейства маслиновых, насчитывающий около 70 видов, распространенных в умеренном поясе Северного полушария, реже в субтропических и тропических лесах. Ясень растет группами в смешанных лесах, иногда вместе с дубом и другими лиственными породами, образуя ясенево-дубовые леса. Высота дерева достигает 30...50 м, а диаметр ствола — 1,5 м. Крона дерева удлиненная яйцевидная, с возрастом высокоподнятая, широко-округлая с изогнутыми молодыми ветвями. Ясень живет до 150–350 лет. Цветет и плодоносит с 15–20 лет. В России произрастает 11 видов ясеня, интродуцировано еще около 20 видов. Наиболее распространен ясень высокий или обыкновенный (*Fraxinus excelsior*), который растет по всей Западной Европе, в Средиземноморье и Малой Азии, а в России к югу и западу от Волги и на Кавказе [1].

Ясень относится к ядровым кольцесосудистым породам. Годичные слои вследствие различий в строении поздней и ранней древесины хорошо заметны на всех разрезах. Ядро светло-бурое, заболонь широкая, желтовато-белая, постепенно переходящая в ядро. Сердцевинные лучи видны на радиальном разрезе в виде небольших блестящих черточек и точек [2]. Среднее значение плотности ясеня обыкновенного при влажности 12 % составляет 680 кг/м³, в абсолютно сухом состоянии — 645 кг/м³, базисная плотность 560 кг/м³ [3]. Ясень не уступает по прочности дубу, имеет красивую текстуру, значительно превосходит дуб

по стойкости к деформациям и ударной вязкости. Ясень широко использовался для изготовления лыж, обручей, весел и даже в кораблестроении [4, 5]. В настоящее время применяется при изготовлении паркета, лестниц, окон и мебели.

Стоимость пиломатериалов и заготовок из ясеня составляет от 35 до 45 тыс. руб. за 1 м³. Вследствие высокой плотности древесины ясеня сушка его представляет определенные сложности. В ГОСТ 19773–84 для паровоздушных камер периодического действия для древесины ясеня и ильма толщиной от 50 до 60 мм приведен пятиступенчатый режим сушки табл. 1 [6].

В справочнике по сушке древесины [7] приведен режим сушки для ясеня и граба толщиной от 50 до 60 мм, включающий в себя операции

Т а б л и ц а 1
Режим сушки пиломатериалов из древесины ясеня и ильма толщиной от 50 до 60 мм [6]
The drying of sawn timber from ash and elm wood with a thickness of more than 50 to 60 mm [6]

Средняя влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
> 35	45	2	89
35–25	47	3	83
25–20	51	5	75
20–15	54	9	60
< 15	65	18	37

Т а б л и ц а 2

Режим сушки пиломатериалов из древесины ясеня и граба толщиной от 50 до 60 мм [7]
The drying of sawn wood from ash and hornbeam thickness of more than 50 to 60 mm [7]

Влажность древесины W, %	Вид обработки	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
W_n	Прогрев	48	0	100
от W_n до 35	Сушка	43	2	88
35–25	Сушка	45	3	73
25	Влаготеплообработка	49	0	100
25–20	Сушка	49	4	79
20–15	Сушка	53	7	66
от 15 до W_k	Сушка	62	18	36
W_k	Кондиционирование	62	12	52

прогрева, сушки, промежуточной влаготеплообработки и кондиционирования (табл. 2).

Там же приводится трехступенчатый режим сушки для пиломатериалов толщиной от 50 до 60 мм (табл. 3).

Т а б л и ц а 3

Режим сушки пиломатериалов из древесины дуба, ильма, граба и ясеня [7]

Drying of sawn timber from oak, elm, hornbeam and ash [7]

Средняя влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
30	47	2	90
30–20	50	5	75
20	62	18	36

П.С. Серговский [8] приводит режим сушки пиломатериалов толщиной от 50 до 60 мм, где ясень объединяется с букком, кленом и лиственницей (режим № 12) (табл. 4).

Т а б л и ц а 4

Режим сушки пиломатериалов из древесины бука, ясеня, клена, лиственницы толщиной от 50 до 60 мм [8]

The drying of sawn timber from beech, ash, maple, and larch thickness from 50 to 60 mm [8]

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Температура «мокрого» термометра, °С	Степень насыщенности, %
Выше 40	53	49,5	82
40–30	57	52,5	78
30–20	60	51,5	63
20–15	63	51	52
15–10	66	50	42
Ниже 10	69	48	32

Пятиступенчатое изменение параметров сушильного агента предусмотрено [9] режимом сушки дуба, ясеня, ильма и граба толщиной от 50 до 60 мм (табл. 5).

У режимов сушки, представленных в табл. 1–5, имеются различия в начальной температуре, которая находится в диапазоне 43...53°, конечной температуре (61...69°), степени насыщенности в начале процесса (82 ... 100 %) и в конце процесса (32... 38 %). Количество ступеней сушки варьируется от 3 до 7.

Т а б л и ц а 5

Режим сушки пиломатериалов из древесины дуба, ясеня, ильма и граба толщиной от 50 до 60 мм [9]

The drying of sawn timber from oak, ash, elm and hornbeam thickness from 50 to 60 mm [9]

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
>35	43	2	89
35–25	45	3	83
25–20	49	4	79
20–15	53	8	74
<15	61	17	38

Приведенные низкотемпературные режимы, включающие операцию прогрева, сушку с различным количеством ступеней, промежуточную и конечную влаготеплообработку и операцию кондиционирования, предполагают использование для сушки пиломатериалов из ясеня технологического водяного пара.

В настоящее время практически не осталось деревообрабатывающих предприятий, использующих для сушки технологической водяной пар, вследствие его высокой стоимости.

В 1994–1994 гг. на кафедре сушки и защиты древесины МГУЛ были разработаны, а затем прошли промышленную апробацию режимы импульсной сушки хвойных и лиственных пород древесины в камерах периодического действия УЛ-2М и камерах непрерывного принципа действия ЦНИ-ИМОД-32 на предприятии ДОК № 1 (г. Москва.)

Т а б л и ц а 6

Сводная таблица различий в режимах сушки пиломатериалов из древесины ясеня толщиной от 50 до 60 мм

Summary table of differences in drying conditions for sawn timber from ashwood thickness from 50 to 60 mm

Литературный источник	Температура агента сушки,		Степень насыщенности		Количество ступеней	Сочетание пород
	начальная, °С	конечная, °С	начальная, %	конечная, %		
ГОСТ 19773–84 [6]	45	65	89	37	5	Ильм
Богданов Е.С. [7]	48	62	100	36	7	граб
Богданов Е.С. [7]	47	62	90	36	3	Дуб, ильм, граб
Серговский П.С. [8]	53	69	82	32	6	Бук, клен, лиственница
Расев А.И. [9]	43	61	89	38	5	Дуб, ильм, граб

В 1995 г. получен патент № 2027127 Российской Федерации на способ сушки пиломатериалов и заготовок, позволяющий отказаться от использования водяного пара в процессе сушки [10].

С 1995 г. по 2005 год на предприятии ООО «Интар» (г. Москва) режимы импульсной сушки были использованы для сушки хвойных пиломатериалов (сосна, ель) и твердолиственных пиломатериалов (дуб, бук, груша, клен, орех), в том числе и для ясеня толщиной 53–58 мм, в модернизированной сушильной камере с аэродинамическим принципом действия «Урал-72». Пример режима сушки пиломатериалов из ясеня приведен в табл. 7.

Т а б л и ц а 7

Режим сушки ясеня толщиной от 50 до 60 мм (ООО «Интар», г. Москва)

Mode of drying, ash thickness from 50 to 60 mm («Intar», Moscow)

Время, сут	Температура агента сушки, °С	Режим сушки		Текущая влажность, %
		Время работы, ч	Время паузы, ч	
1	36	1	4	65,5
3	42	1	4	59,8
7	46	1	4	51,5
11	48	1	3	42,2
14	52	1	3	35,8
21	56	1	3	29,3
25	58	1	3	24,7
31	62	2	3	19,3
35	64	2	2	15,1
39	66	2	2	11,4
40	68	3	2	9,2
44	70	3	2	7,2

Т а б л и ц а 8

Параметры сушки пиломатериалов из древесины ясеня толщиной 54 мм (УПМ МГУЛ, Москва)

Parameters of drying sawn timber from lumber 54 mm thick (MGUL, Moscow)

Время, сут	Температура агента сушки, °С	Режим сушки		Текущая влажность, %
		Время работы, ч	Время паузы, ч	
1	50	2	3	50
12	58	2	3	25,5
25	60	2	3	15,2
30	65	2	3	12,4
45	70	2	2	7,8
48	70	3	2	6,9

В процессе сушки контроль за состоянием материала проводили с использованием контрольных образцов влажности и силовых образцов, заложенных в штабель. Переход со ступени на ступень, повышение температуры и изменение параметров режима импульсной сушки осуществляли в зависимости от развития полных внутренних напряжений.

Специально разработанная система автоматического регулирования, включающая психрометрический узел («сухой» и «мокрый» термометры сопротивления), регулятор температуры и таймер на базе приборов НПО «ОВЕН» (г. Москва), позволила использовать технологию импульсной сушки в четырех камерах периодического действия вместимостью 12 м³ Учебно-производственных мастерских МГУЛ для сушки пиломатериалов из древесины ясеня в период с 2009 по 2013 г.

В 2017 г. авторами получены два патента на способ импульсной сушки пиломатериалов [11, 12].

Список литературы

- [1] Сукачев В.Н. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л.: Гослестехиздат, 1934. 616 с.
- [2] Лесная энциклопедия. В 2-х т. М.: Советская энциклопедия, 1985. 563 с.
- [3] Станко Я.Н., Горбачева Г.А. Древесные породы и основные пороки древесины. М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2010. 155 с.
- [4] Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесн. пром-сть, 1989. 296 с.
- [5] Певцов А.Х., Перельгин Л.М. О физико-механических свойствах древесины ясеня обыкновенного // Сб. работ по исследованию физико-механических свойств древесины. М.: Гослестехиздат, 1933. 132 с.
- [6] ГОСТ 19773–84 «Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия». М.: Изд-во стандартов, 1990. 446 с.
- [7] Богданов Е.С., Козлов В.А., Кунтыш В.Б., Мелехов В.И. Справочник по сушке древесины. М.: Лесная пром-сть, 1990. 304 с.
- [8] Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1968. 448 с.
- [9] Расев А.И. Сушка древесины. М.: Лань, 2010. 416 с.
- [10] Способ сушки пиломатериалов: Пат. № 2027127 Российская Федерация / Расев А.И., Курьшов Г.Н., Ляшенко С.В. Оpubл. 20.01.1995.
- [11] Способ импульсной сушки пиломатериалов: Пат. № 2607923 Российская Федерация / Курьшов Г.Н., Косарин А.А., Расева Е.А.. Оpubл. 11.01.2017.
- [12] Способ импульсной сушки пиломатериалов: Пат. № 2615854 Российская Федерация / Курьшов Г.Н., Косарин А.А., Расева Е.А. Оpubл. 11.04.2017.

Сведения об авторах

Курьшов Григорий Николаевич — канд. техн. наук, доцент каф. древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kuryshov@mgul.ac.ru

Косарин Анатолий Александрович — канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ООО «Форсклад», kosarin2008@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 10.05.2017 г.

IMPULSE DRYING OF SAW TIMBER OF THICKNESS 50 MM IN CONVECTIVE DRYING CAMERAS

G.N. Kuryshov¹, A.A. Kosarin²

¹ BMSTU (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

² ООО «Форклад», 40 st. Partizanskaya, Moscow, 121359, Russia

kosarin2008@yandex.ru

The review of the book sources on the regimes and parameters of sawn timber drying of ash trees of 50 mm thickness has been made. Drying regimes depending on the current humidity of the sawn timber presented in the works of E.S. Bogdanov, A.I. Rasev, P.S. Sergovsky and GOST 19773–84 have been listed. The presented regimes differ in the initial and final temperature of the drying agent, in the degree of saturation at the initial and final stages of the drying process. The drying process includes from 3 to 12 steps, according to different sources. The first impulse drying of sawn timber from ash wood was made in 1995 at LLC «Intar» in a modernized drying chamber Ural-72 with transversely horizontal circulation. The parameters of the drying regime in convective drying chambers of MGUL with transversely vertical circulation of the drying agent are shown. The control over the humidity of the timber during the drying process was carried out by means of control samples. The development of drying stresses was based on force samples. Initial humidity of wood was determined in accordance with GOST 16588–91. The use of pulse regimes allows to reduce the consumption of electricity when drying ash trees up to 60 %.

Keywords: sawn timber, impulse drying, drying regimes

Suggested citation: Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka pilomaterialov iz drevesiny yasenya tolshchinoy 50 mm v konvektivnykh sushil'nykh kamerakh* [Impulse drying of saw timber of thickness 50 mm in convective drying cameras]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 4, pp. 101–105. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-4-101-105

References

- [1] Sukachev V.N. *Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki* [Dendrology with the basics of forest geobotany]. Leningrad: Goslestekhizdat publ., 1934, 616 p.
- [2] *Lesnaya entsiklopediya* [Forest Encyclopedia]. In 2 vol. Moscow: Sovetskaya entsiklopediya, 1985, 563 p.
- [3] Stanko Ya.N., Gorbacheva G.A. *Drevesnye porody i osnovnye poroki drevesiny* [Wood species and the main defects of wood]. M.: Vsemirnyy fond dikoy prirody (WWF) publ., 2010, 155 p.
- [4] Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Handbook of wood]. Moscow: Lesn. prom-st' publ., 1989, 296 p.
- [5] Pevtsov A.Kh., Perelygin L.M. *O fiziko-mekhanicheskikh svoystvakh drevesiny yasenya obyknovennogo* [On the physico-mechanical properties of ash wood of the ordinary] Sb. rabot po issledovaniyu fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny [Collection of works on the study of physical and mechanical properties of wood]. Moscow: Goslestekhizdat, 1933, 132 p.
- [6] GOST 19773–84 «Pilomaterialy khvoynykh i listvennykh porod. Rezhimy sushki v kamerakh periodicheskogo deystviya» [GOST 19773–84 «Sawn timber of coniferous and deciduous species. Modes of drying in batch chambers»]. Moscow: Izd-vo standartov publ., 1990, 446 p.
- [7] Bogdanov E.S., Kozlov V.A., Kuntyshev V.B., Melekhov V.I. *Spravochnik po sushke drevesiny* [Handbook of wood drying]. Moscow: Lesnaya prom-st' publ., 1990, 304 p.
- [8] Sergovskiy P.S. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow: Lesnaya prom-st' publ., 1968, 448 p.
- [9] Rasev A.I. *Sushka drevesiny* [Drying of wood]. Moscow: Lan' publ., 2010, 416 p.
- [10] Sposob sushki pilomaterialov [Method of drying lumber]. Pat. № 2027127 Rossiyskaya Federatsiya / Rasev A.I., Kuryshov G.N., Lyashenko S.V. Publ. 20.01.1995.
- [11] Sposob impul'snoy sushki pilomaterialov [Method of impulse drying of sawn timber]. Pat. № 2607923 Rossiyskaya Federatsiya / Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Raseva E.A. Publ. 11.01.2017.
- [12] Sposob impul'snoy sushki pilomaterialov [Method of impulse drying of sawn timber]. Pat. № 2615854 Rossiyskaya Federatsiya / Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Raseva E.A. Publ. 11.04.2017.

Author's information

Kuryshov Grigoriy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Chair of Wood Science and Technology of Woodworking BMSTU (Mytishchi branch), kuryshov@mgul.ac.ru

Kosarin Anatoliy Aleksandrovich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Deputy Director «Форклад», kosarin2008@yandex.ru

Received 10.05.2017

Деревянные конструкции в городском строительстве изменяют облик Дальнего Востока

Применение деревянных конструкций в строительстве жилья может значительно улучшить качество городской среды как на Дальнем Востоке, так и по всей стране. Статс-секретарь — заместитель Министра промышленности и торговли России **Виктор Евтухов** сообщил о планах государства по расширению применения древесины в строительстве в рамках выступления на стратегической сессии «ЖКХ и жилье. Что будет сделано?» на Восточном экономическом форуме, который проходит во Владивостоке.

В работе сессии приняли участие Министр строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации **Михаил Мень**, заместитель Министра строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации **Андрей Чибис**, заместитель Министра Российской Федерации по развитию Дальнего Востока **Сергей Качаев**, а также представители крупнейших компаний и правительств дальневосточных регионов.

По данным статистики, более 80 % населения России проживает в крупных городах, и этот процент будет расти в ближайшие годы. В связи с этим обустройство городов, развитие их внутренней инфраструктуры, становится первостепенной задачей. Планируется активно изучать мировой опыт и внедрять передовые методики, которые сделают жизнь горожан более экологичной и комфортной.

Деревянные конструкции в городской застройке больших городов применяют страны, которые во всем мире признаются лидерами по организации умной городской среды: Япония, Сингапур и другие. В связи с этим Минпромторг России, Минстрой России, а также региональные власти, профильные ассоциации и бизнес-компании заинтересованы в расширении производства и применении деревянных конструкций.

С точки зрения лесопромышленного комплекса, развитие деревянного домостроения может стать одним из драйверов развития и позволит задействовать значительный лесной ресурс страны, а также обеспечить мультипликативный экономический эффект в смежных отраслях: производство строительных материалов, энергетика, транспорт, жилищно-коммунальное хозяйство, потребительские товары, в том числе, мебель.

«Дальний Восток очень динамично развивается, в том числе, благодаря налаженным контактам с зарубежными партнерами. Для сохранения высоких результатов необходимо обеспечивать развитость внутренней инфраструктуры. Дальний Восток, как и многие регионы страны, сталкивается с проблемами в жилищной сфере. Для решения этого вопроса Минпромторг России предлагает расширить применение деревянных конструкций в строительстве жилья. В нашей стране сегодня есть достаточно и ресурсов, и технологий для развития этого рынка. Мы прогнозируем, что доля деревянного домостроения в России может вырасти до 30 % от общего числа вводимого жилья, в том числе, за счет появления многоэтажного крупнопанельного деревянного домостроения», — сообщил **Виктор Евтухов**.

Развитие деревянного домостроения отвечает планам развития отрасли, которые изложены в новой Стратегии развития лесного комплекса до 2030 года. Правительство России стимулирует применение деревянного строительства по современным технологиям в регионах для возведения социальных объектов. Среди них — детские сады, физкультурно-оздоровительные комплексы, фельдшерско-акушерские пункты, а также жилье взамен ветхого и аварийного.

Среди предлагаемых мер по стимулированию этого направления господдержка в виде льготных кредитных ставок при покупке деревянных домов у производителей. «При этом мы понимаем, что субсидии новые и необходимо отработать механизм их предоставления. На начальном этапе будет предусмотрен объем субсидий порядка 200 млн рублей. С учетом экономической ситуации объем субсидий может быть изменен», — добавил **Виктор Евтухов**.

Среди предлагаемых мер по стимулированию этого направления господдержка в виде льготных кредитных ставок при покупке деревянных домов у производителей. «При этом мы понимаем, что субсидии новые и необходимо отработать механизм их предоставления. На начальном этапе будет предусмотрен объем субсидий порядка 200 млн рублей. С учетом экономической ситуации объем субсидий может быть изменен», — добавил **Виктор Евтухов**.

К другим мерам развития деревянного домостроения относятся также изменение технических регламентов в части многоэтажных домов, стимулирование регионов применять деревянное строительство по современным технологиям, введение квот на использование продукции деревянного домостроения в рамках федеральных и государственных программ. В краткосрочной перспективе эти меры обеспечат рост рынка деревянного домостроения на 10 %.

Федеральный пресс-центр programlesprom.ru

Контакты: info@programlesprom.ru

+7 (915) 283-15-99

+7 (926) 142-03-36

+7 (925) 887-87-41