

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИЗВЕСТИЯ
ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

Лесной журнал

Научный рецензируемый журнал

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

2/362

2018

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

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

ЧЛЕНЫ РЕДКОЛЛЕГИИ:

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

ISSN 0536-1036

DOI: 10.17238/issn0536-1036

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE OF THE RUSSIAN FEDERATION

NAMED AFTER M.V. LOMONOSOV

BULLETIN
OF HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTIONS

Lesnoy Zhurnal

(Forestry journal)

Scientific peer-reviewed journal

Established in 1833

Issued as part of the

“Bulletin of Higher Educational Institutions” since 1958

Published 6 times a year

2/362

2018

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

EDITORIAL STAFF:

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

MEMBERS OF THE EDITORIAL STAFF:

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



СОДЕРЖАНИЕ

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<i>В.П. Макаров, Ю.В. Зима, О.Ф. Малых, Е.А. Банищикова.</i> Опыт, состояние и перспективы создания культур <i>Pinus sylvestris</i> L. в степных борах Восточного Забайкалья.....	9
<i>А.Ю. Карпечко.</i> Влияние несплошной рубки на тонкие корни и микоризные окончания ели обыкновенной.....	23
<i>А.Е. Осипенко, С.В. Залесов.</i> Производительность искусственных сосняков в ленточных борах Алтайского края.....	33
<i>Д.А. Данилов, Н.В. Беляева, А.В. Грязькин.</i> Особенности формирования запаса и товарной структуры модальных хвойных древостоев сосны и ели к возрасту спелого насаждения.....	40
<i>Н.О. Пастухова, А.И. Горкин, О.П. Лебедева.</i> Сравнительный анализ смолопродуктивности сосны в разных лесорастительных условиях.....	49

ЛЕСОЭКСПЛУАТАЦИЯ

<i>М.М. Умаров, А.В. Скрыпников, Е.В. Чернышова, Е.Ю. Микова.</i> Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог.....	58
<i>Ю.А. Макарова, А.Ю. Мануковский.</i> Исследование воздействия паводковых вод на разрушение откосов земляного полотна.....	70
<i>П.Н. Перфильев.</i> Исследование оптимальных методов сплотки круглых лесоматериалов.....	77

МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

<i>А.Г. Гороховский, Е.Е. Шишкина, Е.В. Старова, А.А. Миков.</i> Анализ процессов сушки древесины существенно неизотермическими режимами.....	88
<i>В.В. Лозовецкий, А.А. Шадрин, С.А. Катков.</i> Моделирование движения древесностружечных материалов в цилиндрических бункерах.....	97

ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

<i>В.В. Гораздова, Е.В. Дернова, Д.А. Дулькин, Е.О. Окулова.</i> Влияние фибрилляции и укорочения волокон при размоле на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости целлюлозных материалов.....	109
<i>А.Н. Иванкин, В.Г. Санаев, Г.А. Горбачева, А.К. Агеев, Д.П. Кирюхин, Г.А. Кичигина, П.П. Куц.</i> Модификация свойств природных целлюлозосодержащих композиционных материалов фторсополимерами и теломерами тетрафторэтилена.....	122

КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ И ОБМЕН ОПЫТОМ

<i>К.Л. Михайлов, Д.Х. Файзулин, Н.А. Демина.</i> Роль научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в лесном хозяйстве.....	133
--	-----

КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

- Г.А. Горбачева.* Новая книга Питера Нимца и Вальтера Сондерреггера «Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe» – фундаментальный труд в области наук о древесине..... 139

НЕКРОЛОГИ

- А.М. Антонов, Н.А. Бабич, Н.П. Гаевский, Н.О. Пастухова, Г.И. Травникова.* Памяти Виталия Васильевича Петрика..... 142
- А.М. Крышень, В.А. Харитонов, С.А. Мошников.* Памяти Александра Ивановича Соколова..... 144
-



CONTENTS

FORESTRY

- V.P. *Makarov, Yu.V. Zima, O.F. Malykh, E.A. Banshchikova.* Experience, Status and Prospects of *Pinus sylvestris* L. Planting in the Steppe Pine Forests of Eastern Transbaikalia..... 9
- A.Yu. *Karpechko.* The Effect of Partial Cutting on Tender Roots and Mycorrhiza of Norway Spruce..... 23
- A.E. *Osipenko, S.V. Zalesov.* Productivity of Artificial Pine Stands in Ribbon Forests of the Altai Territory..... 33
- D.A. *Danilov, N.V. Belyaeva, A.V. Gryaz'kin.* Features of Yield and Commodity Composition of Pine and Spruce Modal Coniferous Stands for the Age of Mature Stands..... 40
- N.O. *Pastukhova, A.I. Gorkin, O.P. Lebedeva.* Comparative Analysis of Pine Resin Productivity in Different Forest Site Types..... 49

WOOD EXPLOITATION

- M.M. *Umarov, A.V. Skrypnikov, E.V. Chernyshova, E.Yu. Mikova.* Digital Elevation Model for Forest Road-Location..... 58
- Yu.A. *Makarova, A.Yu. Manukovskiy.* The Effect of Floodwater on Slope Disturbance 70
- P.N. *Perfil'ev.* Study of Optimal Bundling Methods of Round Timber..... 77

MECHANICAL TECHNOLOGY OF WOOD AND WOOD SCIENCE

- A.G. *Gorokhovskiy, E.E. Shishkina, E.V. Starova, A.A. Mikov.* Wood Drying Processes under Essentially Nonisothermal Conditions..... 88
- V.V. *Lozovetskiy, A.A. Shadrin, S.A. Katkov.* Simulation of Chipboard Materials Motion in the Cylindrical-Conical Bunkers..... 97

CHEMICAL TECHNOLOGY OF WOOD

- V.V. *Gorazdova, E.V. Dernova, D.A. Dul'kin, E.O. Okulova.* The Effect of Fiber Brushing and Shortening when Beating on the Strength, Deformation and Fracture Toughness Properties of Cellulosic Materials..... 109
- A.N. *Ivankin, V.G. Sanaev, G.A. Gorbacheva, A.K. Ageev, D.P. Kiryukhin, G.A. Kichigina, P.P. Kushch.* Modification of Properties of Natural Cellulose-Containing Composite Materials by Fluoroelastomers and Tetrafluoroethylene Telomers..... 122

SUMMARIES AND EXCHANGE OF TEACHING

- K.L. *Mikhaylov, D.Kh. Fayzulin, N.A. Demina.* Research, Development and Engineering in Forestry..... 133

CRITIQUE AND BIBLIOGRAPHY

- G.A. *Gorbacheva.* A New Book by Peter Niemz & Walter Sonderegger “Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe” is a Major Work in Wood Sciences 139

OBITUARIES

- A.M. Antonov, N.A. Babich, N.P. Gaevskiy, N.O. Pastukhova, G.I. Travnikova. In
Memory of Vitaliy V. Petrik..... 142*
- A.M. Kryshen', V.A. Kharitonov, S.A. Moshnikov. In Memory of Aleksandr I. Sokolov 144*
-



УДК 630*23(470.45)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.9

ОПЫТ, СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ КУЛЬТУР *PINUS SYLVESTRIS* L. В СТЕПНЫХ БОРАХ ВОСТОЧНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

В.П. Макаров, канд. биол. наук, ст. науч. сотр.

Ю.В. Зима, канд. геогр. наук, науч. сотр.

О.Ф. Малых, науч. сотр.

Е.А. Банщикова, асп.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Недорезова, д. 16а, г. Чита, Забайкальский край, Россия, 672014; e-mail: vm2853@mail.ru

Исследование культур сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) проведено в степных сосновых борах Цасучейский и Цырик-Нарасун, расположенных на юго-востоке Забайкальского края в условиях усиления аридности территории – повышения среднегодовой температуры воздуха, снижения годовой суммы осадков, участившихся степных и лесных пожаров. С использованием результатов исследований В.В. Огиевского и П.А. Бондаря рассмотрены история и опыт создания лесных культур в Забайкальском крае в 60–70-е гг. XX в. Установлены оптимальные сроки, способы и методы подготовки почвы, посадки культур и ухода за ними, а также возможность их создания в определенных условиях посева семян. Приведена современная оценка состояния культур сосны, созданных в степных борах преимущественно в 70-х гг. прошлого столетия и характеризующихся низкой сохранностью (2...18 %), связанной с лесными пожарами и дефицитом осадков. Естественное возобновление сосны в культурах оценивается как удовлетворительное на участках с редким травяным покровом и обработанной почвой. На большинстве исследованных площадей в древостое преобладают здоровые деревья. Значительное влияние на снижение жизненного состояния культур сосны оказывают сильные низовые пожары. Динамика прироста культур сосны преимущественно связана со среднегодовой суммой осадков, температурой воздуха первой половины вегетационного периода, плотностью посадки культур и влиянием пожаров. Для сохранения степных сосновых боров в условиях повышения аридности территории рекомендуется усилить меры по профилактике степных и лесных пожаров, содействовать естественному возобновлению сосны, совершенствовать методы создания лесных культур.

Ключевые слова: Восточное Забайкалье, изменение климата, лесные пожары, степные сосняки, состояние культур сосны.

Введение

Степные сосновые леса Забайкальского края образованы степным экотипом сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* susp. *krylovii* (Serg. et Kondr.) Busik),

Для цитирования: Макаров В.П., Зима Ю.В., Малых О.Ф., Банщикова Е.А. Опыт, состояние и перспективы создания культур *Pinus sylvestris* L. в степных борах Восточного Забайкалья // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 9–22. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.9

который характеризуется крупными семенами, высокой засухоустойчивостью и другими признаками и свойствами, способствующими его произрастанию в засушливых условиях. Сосновые леса предохраняют песчаную почву от эрозии, регулируют водосток, создают благоприятные условия для проживания людей, являются местообитанием ценных видов животных и растений.

Сосняки многие годы находятся под воздействием пожаров, рубок, выпаса скота, сенокоса. В настоящее время площадь естественных сосняков в результате пожаров сократилась до размеров, угрожающих их существованию (сохранилось около 10...15 % естественных насаждений). Начиная с 50–60-х гг. XX в. на значительных территориях проводились и проводятся работы по восстановлению утраченных лесов.

Настоящая статья посвящена обобщению результатов научных исследований и производственной деятельности по восстановлению степных сосновых лесов в Забайкальском крае, а также оценке современного состояния культур сосны.

Объекты и методы исследования

Анализ литературных источников сделан по результатам исследовательских и производственных работ, выполненных в 50–60-е гг. прошлого столетия П.А. Бондарем [2], В.В. Огиевским [10] и другими учеными [1, 11].

В Забайкалье лесными культурами начали заниматься с 1949 г. Однако далеко не на всех площадях, подвергавшихся искусственному лесовозобновлению, формировались полноценные насаждения. Это объяснялось отсутствием методов и приемов создания лесных культур для Восточного Забайкалья.

П.А. Бондарь, обобщив 25-летний опыт искусственного лесовосстановления в Восточном Забайкалье, материалы лесоустройства, отчетные данные предприятий, литературные источники и результаты собственных 5-летних исследований (1971–1975 гг.), наметил пути улучшения лесокультурного производства применительно к местным физико-географическим условиям [2].

Объектами наших исследований были сосновые боры Цырик-Нарасун и Цасучейский, расположенные в Онон-Аргунской степи соответственно на левом и правом берегах р. Онон.

Исследование культур сосны (возраст 30–40 лет) проводили в августе 2016 г. на 12 пробных площадях (ПП) размером 400...5000 м² исходя из наличия на каждой ПП не менее 100 деревьев. На ПП фиксировали расстояние между рядами, определяли направление рядов по сторонам света, проводили сплошной пересчет деревьев, учитывая их жизненное состояние: 1 – здоровые, 2 – ослабленные, 3 – сухостой, 4 – бурелом. Измеряли: высоту 15...20 деревьев для построения графика высот; диаметр всех деревьев на высоте 1,3 м; протяженность и ширину крон. Для уточнения возраста и установления динамики прироста насаждений по диаметру с помощью возрастного бура отбирали керны у пяти модельных деревьев среднего диаметра. В культурах учитывали естественное возобновление, на площадках размером 1 м² – всходы и самосев, на всей ПП – подрост старше 5–6 лет.

Район исследований расположен в долине р. Онон, а также на плоских террасированных и увалистых равнинах, расположенных в высотном поясе 600...800 м. Приононская равнина сложена аллювиальными песками и галечниками. Для района типичны нителестниковые (*Filifolium sibiricum* (L.) Kitam.), тонконоговые (*Koeleria cristata* (L.) Pers.) и злаково-житняковые сообщества на каштановых почвах. Сосновые боры сухие и светлые с травяным

покровом. За год в районе выпадает 200...250 мм осадков. Сумма температур за период со среднесуточными температурами выше 10 °С составляет 1900...2100 °С [13].

Глобальные изменения климата в последние 100 лет стали общепризнанным фактом, причем они наблюдаются во всех природных зонах и фиксируются практически всеми компонентами экосистем. Наиболее заметны они в Арктике и Субарктике [20, 21], а также в регионах с аридным или семиаридным климатом [16, 22]. В последние десятилетия климат существенно изменился и на соседней территории (в Монголии), что сказывается на состоянии и развитии древесных пород [14, 15, 17–19]. По данным инструментальных измерений метеостанции «Нижний Цасучей», в период с 1971 по 2014 г. средняя годовая сумма осадков составляла 325 мм и варьировала от 157 до 638 мм. Минимум осадков отмечен в 2004 г., максимум – в 1998 г. Начиная с 1988 г. прослеживается тенденция снижения годовой суммы осадков.

Среднегодовая температура воздуха с 1971 по 2014 г. равнялась 0 °С и варьировала от –1,6 до +2,9 °С. Минимальная среднегодовая температура воздуха зафиксирована в 1981 г., максимальная – в 2007 г. Начиная с 1981 г. наблюдается тенденция повышения среднегодовой температуры воздуха. Таким образом, в этот период времени происходили параллельные процессы: снижение годовой суммы осадков и повышение температуры воздуха [8].

Изменение цикличности осадков, особенно в последнее десятилетие, и повышение температуры воздуха привели к увеличению частоты и площади лесных и степных пожаров. В 2003–2012 гг. катастрофически пострадал от пожара огромный массив Цасучейского бора (около 68,0 тыс. га). Сохранились слабо поврежденными пожарами островные сосновые боры Цырик-Нарасун (2,5 тыс. га) и в районе поселка Чиндант 1-й (2,2 тыс. га).

Большая часть (около 90 %) Цасучейского бора пройдена верховыми пожарами. Поскольку развитие верховых пожаров провоцировалось высокой скоростью ветра, то фронт пожаров, как правило, распространялся «языками» вдоль преобладающего северо-западного направления ветра. После воздействия таких пожаров остались жизнеспособными неширокие полосы сосновых древостоев, не затронутых верховым огнем [6–8].

Сосновый бор Цырик-Нарасун представляет собой два лесных массива, между которыми находятся искусственные посадки сосны. Возраст самых крупных деревьев достигает 300–400 лет. Травяной ярус сообщества занят типичными для степей видами растений с преобладанием злаков (ковыль, типчак) и осок. Значительных пожаров сосновый лес в последние десятилетия не испытывал.

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты исследования показали, что лучшим сроком подготовки почвы под культуры является конец лета – начало осени (август–сентябрь), весеннюю подготовку почвы можно совмещать с одновременной посадкой культур. На пологих и покатых склонах наиболее приемлемый способ подготовки почвы – частичный бороздами и полосами, на крутых склонах – площадками или ямками. В качестве основного метода создания культур рекомендована посадка. Установлено, что лучшим сроком посадки является ранняя весна (начало мая). В степных борах и остепненных лесах рекомендованная первоначальная густота посадки – 8...10 тыс. шт./га с учетом обеспечения

в 10-летнем возрасте наличия 6...7 тыс. шт./га. Посев допускается на свежих вырубках или гарях на свежих почвах легкого механического состава.

В первые три года рекомендуется проводить уходы при помощи культиватора с седланием рядков, в последующие годы культивация осуществляется на всей площади междурядий без седлания рядков. После прекращения уходов за почвой устойчивость культур регулируется рубками ухода.

По отчетным данным Читинского управления лесного хозяйства за 1949–1975 гг., посевом и посадкой создано 70,8 тыс. га лесных культур (на посев приходится 56,5 %, на посадку – 43,5 %). Общая приживаемость культур (посевом и посадкой) составила по годам от 18,1 до 56,9 % (в среднем – 50,7 %). Наиболее компактные массивы искусственных насаждений были созданы в Оловянинском, Ононском, Читинском, Карымском, Агинском районах.

В производственных условиях применяли следующие схемы посадки и посева:

1. Сосна обыкновенная чистая. Рядовые посадки в плужные борозды с шириной междурядья 2,0...3,0 м; расстояние в рядах от 0,5 до 1,0 м. Это наиболее часто применяемая в Восточном Забайкалье схема.

2. Сосна обыкновенная с караганой древовидной (*Caragana fruticosa* (Pall.) Kom.). Посадка в плужные борозды с шириной междурядья 2,0...3,0 м. В рядах сосна чередуется с желтой акацией через место. Расстояние между посадочными местами в рядах от 0,4 до 0,5 м.

3. Посев сосны по частично подготовленной почве бороздами, полосами и площадками на песчаных, легкосуглинистых и черноземных почвах, на старых и свежих вырубках.

4. Лиственница Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.). Посадка в плужные борозды, полосы по схеме 2,0...3,0×0,7...1,0 м.

На основании действующих правил дополнение лесных культур проводится при их приживаемости от 25 до 90 %. Если этот показатель ниже 25 %, культуры подлежат списанию независимо от первоначальной густоты их создания. П.А. Бондарь считал, что если созданные культуры обеспечивают формирование сомкнутого насаждения в приемлемые сроки, то проводить дополнение нецелесообразно. Если в созданных культурах имеется достаточное количество прижившихся растений (в степных борах – 1 тыс. шт./га), то списывать такие площади не рекомендуется.

Анализ лесокультурных работ в районе степных ленточных боров в Забайкалье, проведенный В.В. Огиевским [10], показал, что лесокультурные работы начаты в 1952–1953 гг. В районе создавались культуры сосны посадкой семян, дичков и посевом семян. Культуры, созданные посевом семян, гибли. Карагана древовидная, введенная в культуры, или погибала, или находилась в очень плохом состоянии.

Частичная обработка плужными бороздами и полосами являлась основным способом подготовки почвы для создания культур. При этом приживаемость культур, произведенных посадкой, на большинстве участков составляла 40...90 %. Культуры погибали только на особо сухих склонах южной экспозиции. Обследованные культуры повсеместно имели удовлетворительное состояние. Средняя высота 3-летних культур составляла 0,1...0,3 м, 5–6-летних – 0,5...1,0 м, 9-летних – 1,3...1,7 м.

В.В. Огиевский не рекомендовал проводить сплошную обработку почвы, так как при этом происходило засыпание и задувание семян песком.

По его мнению, этого можно избежать, если обработку проводить в год, предшествующий закладке культур. Для улучшения качества полосной обработки почвы ширину обрабатываемых полос рекомендовалось увеличить до 3,0...6,0 м. В Ононском лесхозе широко практиковалось создание культур посадки 3–6-летних дичков сосны, однако процедура по их заготовке осложнялась тем, что работы приходилось проводить на больших площадях.

В питомниках лесхозов степных районов для предохранения семян от вымерзания и ожогов корневой шейки рекомендовалось осуществлять осеннее мульчирование 1–2-летних посевов и снегозадержание, а также плужные борозды направлять с запада на восток с отвалом пласта на юг, семена высаживать по южному краю борозды.

По результатам опытных работ В.В. Огиевским были сделаны выводы:

при создании культур сосны целесообразно применять частичную обработку почвы полосами шириной от 1,0 до 6,0 м и бороздами;

почву обрабатывать в год, предшествующий закладке культур;

для более быстрого смыкания крон создавать чистые культуры сосны с густотой посадки семян 7...10 тыс. шт./га;

лесокультурные работы проводить весной и осенью.

Производство культур посевом семян, по его мнению, не дает положительных результатов.

Нужно отметить, что из-за недостаточного количества местного посадочного материала в отдельные годы материал для посадки завозили из других регионов Забайкальского края [12]. Известно, что местный степной экотип сосны отличается рядом морфологических, физиологических и генетических особенностей, обеспечивающих устойчивость сосновых насаждений в суровых климатических условиях [4, 5]. Поэтому практика посадки чужеродных экотипов могла (и может) привести к генетическому загрязнению (нарушению) сосновых насаждений и снижению устойчивости сосновых лесов.

Характеристика культур. Значительные площади лесных культур созданы в 70-х годах прошлого столетия. В настоящее время их возраст составляет 35–40 лет. Проектная густота посадки в зависимости от планируемого использования – 0,330...11,000 тыс. шт./га. Ширина междурядий в культурах сосны Цасучейского бора обычно 3,0...3,5 м, в ряде случаев – 5,0...8,0 м; в бору Цырик-Нарасун – 2,0...2,5 м, в отдельных случаях – 1,0...1,5 м.

Флористический состав травостоя на ПП представлен рядом степных видов, среди которых доминантами и субдоминантами выступают ковыли байкальский (*Stipa baicalensis* Roshev.) и Крылова (*Stipa krylovii* Roshev.), лапчатка бесстебельная (*Potentilla acaulis* L.), полынь холодная (*Artemisia frigida* Willd.), леспедеца ситниковая (*Lespedeza juncea* (L. fil.) Pers.) и осока стоповидная (*Carex pediformis* С.А. Meyer).

Проективное покрытие травостоя и его высота в культурах зависят от сомкнутости крон, проводимой обработки почвы в междурядьях, пожарной активности, покрытие варьирует от 20...30 до 70...90 %, средняя высота травостоя находится в пределах от 20...30 до 60...70 см.

Сомкнутость крон культур сосны в Цасучейском бору невысокая и составляет 10...40 %, в то время как в центральных участках бора Цырик-Нарасун наблюдается более плотное размещение деревьев, сомкнутость крон находится в пределах 50...70 %. Средний диаметр сосны в культурах, кроме молодых посадок, – 10...23 см, средняя высота – 5,0...15,0 м. Ширина кроны в зависимости от схемы, густоты посадки и сохранности деревьев составляет 1,8...3,5 м, длина кроны – 5,1...10,6 м (табл. 1).

Таблица 1

Общая характеристика культур сосны в степных борах Восточного Забайкалья

Номер ПП	Географические координаты ПП, °	Возраст, лет	Расстояние между рядами, м	Сомкнутость крон, %	Средние		Характеристики кроны, м	
					диаметр, см	высота, м	Ширина	Протяженность
<i>Цасучейский бор</i>								
1	50.39059 115.30566	25	3,0	10...20	10,0	6,0	2,2	5,1
2	50.39122 115.31049	30	3,0	30...40	16,0	11,5	3,5	10,6
3	50.38342 115.27741	25	3,0	30...40	11,0	9,8	2,8	6,9
4	50.38036 115.26837	25	8,0	20...30	13,0	9,0	2,9	6,6
5	50.37870 115.23665	30	5,5	10...20	22,0	12,1	3,4	7,9
6	50.39063 115.26261	25	3,0	30...40	11,0	8,2	1,8	4,1
7	50.33150 114.96397	25	3,0	20...30	23,0	11,1	5,1	8,6
8	50.33479 114.98976	30	3,0	10...20	22,0	12,8	4,7	9,7
9	50.46575 114.82381	7	3,5	0	6,2	1,6	0,8	1,5
<i>Бор Цырик-Нарасун</i>								
10	50.63905 115.03368	36	2,5	60...70	16,0	15,1	3,1	10,3
11	50.64367 115.02550	33	1,0...1,5	50...60	17,0	12,2	2,8	10,4
12	50.64199 115.04577	25	2,0	20...30	10,0	4,9	2,6	5,5

Примечание. В числителе приведена ширина; в знаменателе – долгота.

Сохранность. Большинство исследованных культур характеризуются низкой сохранностью (2...18 %), что связано как с огневым воздействием, так и с естественной конкуренцией деревьев за влагу, свет и питательные вещества (табл. 2). При сохранности культур менее 25 % они подлежат списанию [9]. Соответствующая разработанным нормам сохранность культур (27...53 %) отмечается на посадках с шириной между рядами 5,5 и 8,0 м и большим шагом посадки (например, на ПП 5 шаг посадки – 2,5...3,0 м).

Таблица 2

**Сохранность и естественное возобновление культур сосны
в степных борах Восточного Забайкалья**

Номер ПП	Характеристика древостоя и вид пожара	Количество деревьев, тыс. шт./га		Сохранность, %	Количество, тыс. шт./га	
		посаженных	живых		всходов	самосева
<i>Цасучейский бор</i>						
1	Длительно не горевший древостой	4,700	0,660	14	3,2±5,3	10,5±4,3
2	То же	4,700	0,524	11	6,7±6,7	10,7±5,6
3	Низовой бег- лый, сильный	4,700	0,811	17	0,0	6,0±3,0
4	Длительно не горевший древостой	1,800	0,480	27	5,3±4,1	49,3±15,3
5	Низовой бег- лый, сильный	0,330	0,176	53	0,0	22,2±9,8
6	То же	4,700	0,722	15	0,0	14,0±7,5
7	Длительно не горевший древостой	4,700	0,900	2	0,0	4,7±2,4
8	То же	4,700	0,191	4	0,0	2,2±1,5
9	Не повре- жденный ог- нем древостой	4,000	0,622	16	0,0	9,3±2,7
<i>Бор Цырик-Нарасун</i>						
10	Длительно не горевший древостой	6,000	1,100	18	12,0±5,3	0,0
11	То же	11,000	1,300	12	0,0	0,0
12	« «	7,000	0,380	5	0,0	0,0

В условиях сухой степи редкий древостой с полнотой (0,3...0,5) является характерным, способствует пожарной устойчивости лесов и, на наш взгляд, может быть приемлем. Поэтому культуры с низкой сохранностью нужно сохранять, а при необходимости дополнять.

Оценка естественного возобновления. В Цасучейском бору на большинстве исследованных площадей, занятых культурами сосны, наблюдается удовлетворительное естественное возобновление сосны. Количество жизнеспособного подроста высотой до 0,5 м, как на площадях, пострадавших от пожаров, так и в длительно не затронутых пожаром культурах, находится в пределах

2,2...49,3 тыс. шт./га. Подроста старше 5–6 лет не обнаружено. Относительно густым естественным возобновлением отличается участок культур сосны с длительно не горевшим древостоем и междурядьем 8,0 м, однако на отдельных участках сосновых культур естественное возобновление необеспеченное, или плохое (ПП 7 и 8). Возможно, это связано с тем, что на данных участках хорошо развит травостой и образовался плотный слой травяной ветоши, которые затрудняют прорастание семян сосны. На участках с удовлетворительным возобновлением ветошь и травяной покров частично уничтожены низовым пожаром и механизированной обработкой почвы (заметны следы обработки междурядий культиваторами).

В бору Цырик-Нарасун культуры сосны имеют относительно узкие междурядья (1,0...2,5 м). Здесь естественное возобновление сосны необеспеченное. Обработка таких междурядий машинами затруднена, поэтому длительное время не проводилось изреживание культур (рубки ухода). Создался значительный слой подстилки и опада, ограничивающий прорастание семян. Самосева нет, только на одном из участков отмечено наличие всходов сосны (табл. 2).

Оценка жизненного состояния. Жизненное состояние культур сосны на большинстве исследованных площадей характеризуется преобладанием в составе древостоя здоровых деревьев в количестве 76...100 %. При этом на площадях культур сосны, подвергшихся воздействию сильного низового пожара (ПП 3, 5, 6), участие в древостое здоровых деревьев заметно ниже (до 18...44 %). На таких площадях преобладают ослабленные и погибшие деревья (рис. 1).

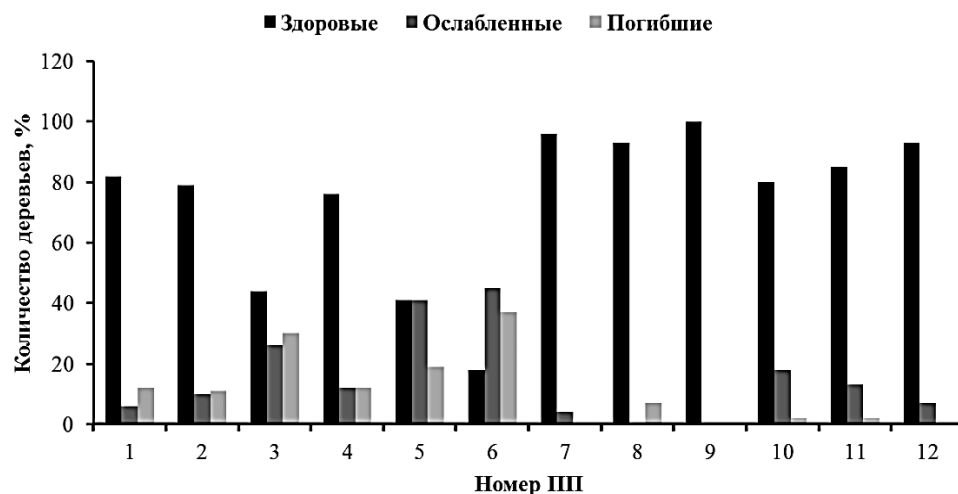


Рис. 1. Жизненное состояние культур сосны обыкновенной в степных борах Цасучейский (ПП 1–9) и Цырик-Нарасун (ПП 10–12)

Динамика радиального прироста. Дендроклиматический анализ обобщенной древесно-кольцевой хронологии сосны в Восточном Забайкалье [3] показал, что основным лимитирующим фактором формирования радиального прироста является атмосферное увлажнение. Выявлена высокая статистическая значимость не только среднегодового количества атмосферных осадков, но и осадков в период вегетации (май–июль). Имеющиеся данные также демонстрируют существенное влияние температуры воздуха первой половины вегетационного периода на процесс формирования радиального прироста сосны.

Этот вывод подтверждается значимой корреляционной связью динамики ширины годичного кольца с температурой июля.

В древостоях, длительное время не повреждавшихся пожарами, в динамике прироста годичного кольца отражается климатическое воздействие. Ширина годичного прироста колеблется в зависимости от условий года, главным образом от количества осадков. Общий тренд годичного прироста культур в возрасте 37 лет свидетельствует о снижении прироста по мере увеличения возраста, что, вероятно, связано с незавершенным процессом естественного изреживания древостоя (рис. 2).

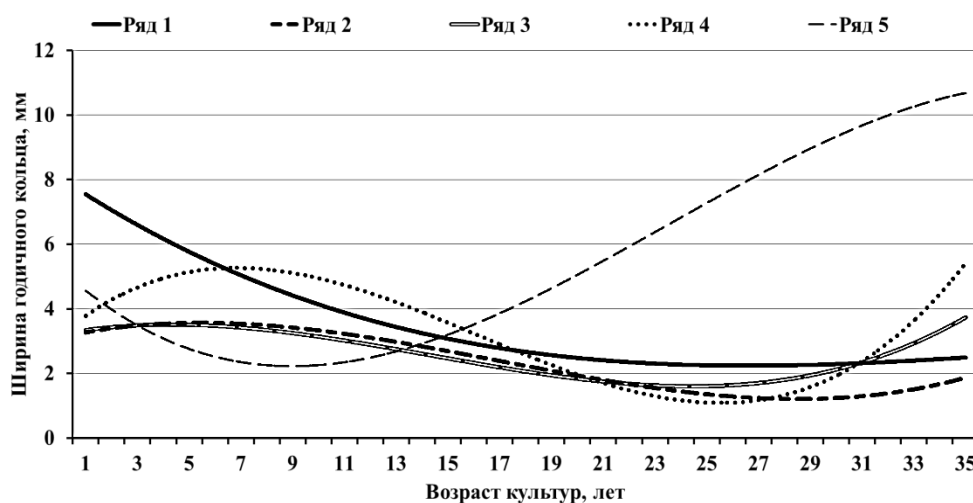


Рис. 2. Полиномиальные тренды прироста годичного кольца культур сосны обыкновенной в степных борах Цасучейский (ряды 1, 3–5) и Цырик-Нарасун (ряд 2): ряды 1, 2 – культуры, длительное время не повреждавшиеся пожарами; ряды 3, 4 – культуры, повреждавшиеся сильными низовыми пожарами, при ширине междурядий 3,0 и 5,5 м соответственно; ряд 5 – культуры после искусственного изреживания древостоя при ширине междурядий до 8,0 м

В сосновом бору Цырик-Нарасун ширина междурядий в культурах меньше, чем в Цасучейском бору: 1,5...2,0 м против 3,0 м. Здесь естественное изреживание культур происходило, вероятно, более быстрыми темпами. В возрасте древостоя около 28–29 лет наблюдается увеличение годичного прироста диаметра стволов.

В культурах сосны Цасучейского бора, поврежденных низовым сильным пожаром, динамика годичного прироста диаметра стволов деревьев характеризуется относительно резким изменением по годам. Это может быть связано не только с влиянием факторов увлажнения и температуры, но и с огневым повреждением деревьев.

Изменение годичного прироста после воздействия пожаров отмечено в культурах с междурядьем 5,5 м. До пожаров наблюдается заметное увеличение прироста диаметра за счет низкой конкуренции с соседними деревьями, после пожаров происходит резкое снижение прироста диаметра годичного кольца.

Помимо климатических факторов и воздействия пожаров, на развитие культур сосны влияет и густота посадки. На ПП 4 к возрасту 15 лет путем вырубki части деревьев ширина междурядий увеличилась до 8,0 м. В результате начиная с этого возраста отмечено увеличение годовичного прироста культур.

Перспективы развития и создания культур. Участвовавшие пожары и повышение аридности территории способствуют снижению устойчивости лесных культур. Эти же факторы усиливаются при густом размещении культур сосны, а также при использовании в качестве посадочного материала сеянцев из других регионов Забайкальского края, менее приспособленных к особо засушливым условиям степных боров.

При существующих тенденциях климатических изменений, практике лесовосстановительных работ и ухода за лесными культурами значительная часть созданных насаждений может быть потеряна.

Для сохранения степных сосновых лесов и увеличения их потенциальной площади необходимо использовать для посадок исключительно местный посадочный материал, совершенствовать технологии проведения лесовосстановительных работ, обеспечивающих оптимальную (низкую) в условиях сухой степи полноту древостоя. Перспективными для сохранения и расширения сосновых боров мероприятиями должны стать охрана естественных насаждений, возникших на залежных землях, а также содействие естественному возобновлению сосны путем нарушения дернины и травяного покрова на остепненных участках.

Выводы

1. В условиях аридизации климата традиционные технологии создания лесных культур нуждаются в совершенствовании. Основные направления по сохранению и расширению площади сосновых лесов: усиление охраны лесов от пожаров; проведение мероприятий по содействию естественному возобновлению сосны; совершенствование методов создания лесных культур.

2. В настоящее время снижение уровня жизненного состояния лесных культур сосны 35–40-летнего возраста в Цасучейском бору преимущественно обусловлено воздействием лесных пожаров, недостатком атмосферных осадков и высокой плотностью насаждений.

3. Густая посадка сосны при рекомендованных норме междурядья (2...3 м) и расстоянии саженцев в рядах (0,5...1,0 м) без последующих рубок ухода способствует повышению пожарной опасности в насаждениях, снижению годовичного прироста растений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бобринев В.П., Пак Л.Н. Эффективность выращивания лесных культур крупномерным посадочным материалом в Восточном Забайкалье // Изв. Оренбург. гос. аграр. ун-та. 2016. № 2 (58). С. 40–42.
2. Бондарь П.А. Искусственное лесовосстановление на востоке Забайкалья // Охрана и восстановление лесов Забайкалья. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В.Н. Сукачева СО АН СССР, 1977. С. 91–114.

3. Вахнина И.Л. Анализ динамики ширины годичных колец сосны обыкновенной в условиях Восточного Забайкалья // Изв. Иркут. гос. ун-та. Сер. «Биология. Экология». 2011. Т. 4, № 3. С. 13–17.
4. Дворецкий Н.И. Изменчивость сосны обыкновенной в Восточном Забайкалье: дис. ... канд. биол. наук. Красноярск, 1996. 103 с.
5. Ларионова А.Я. Генетическая изменчивость сосны обыкновенной в юго-восточной части ареала // Генетика. 2002. Т. 38, № 12. С. 1641–1648.
6. Макаров В.П. Состояние островного соснового бора в степной зоне Забайкалья // Аридные экосистемы. 2015. Т. 21, № 3 (64). С. 56–63.
7. Макаров В.П., Малых О.Ф. Состояние степного соснового бора в Забайкальском крае после лесных пожаров // Успехи современного естествознания. 2016. № 3. С. 90–93.
8. Макаров В.П., Милютин Л.И. Многолетняя динамика посевных качеств сосны обыкновенной в сухостепной зоне Забайкальского края // Успехи современного естествознания. 2015. № 4. С. 129–133.
9. Методические указания по планированию, проектированию, приемке, инвентаризации, списанию объектов лесовосстановления и лесоразведения и оценке эффективности мероприятий по лесовосстановлению и лесоразведению. М.: ВНИИЛМ, 2011. 98 с.
10. Огиевский В.В. Искусственное лесоразведение в Сибири. М.: Гослесбуиздат, 1962. 175 с.
11. Пак Л.Н., Бобринев В.П. Приживаемость, сохранность и рост лесных культур сосны в Цасучейском бору // Изв. НЦ РАН, 2013. Т. 15, № 3(3). С. 1056–1059.
12. Стрельников В.Г. Природа Агинской степи. Чита: ЗабГПУ, 2000. 270 с.
13. Типы местности и природное районирование Читинской области. М.: АН СССР, 1961. 157 с.
14. Batima P. Climate Change Vulnerability and Adaptation in the Livestock Sector of Mongolia // A Final Report Submitted to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC). Project No. AS 06. Washington DC, USA, 2006. 105 p.
15. Batima P., Natsagdorj L., Gombluudev P., Erdenetssetseg B. Observed Climate Change in Mongolia // AIACC Workings Papers. No. 12. June 2005. Washington DC, USA, 2005. 25 p.
16. Breshears D.D., Cobb N.S., Rich P.M., Price K.P., Allen C.D., Balice R.G., Romme W.H., Kastens J.H., Floyd M.L., Belnap J., Anderson J.J., Myers O.B., Meyer C.W. Regional Vegetation Die-Off in Response to Global-Change-Type Drought // Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 2005. Vol. 102, no. 42. Pp. 15144–15148.
17. D'Arrigo R., Jacoby G., Pederson N., Frank D., Buckley B., Nachin B., Mijiddorj R., Dugarjav C. Mongolian Tree-Rings, Temperature Sensitivity and Reconstructions of Northern Hemisphere Temperature // The Holocene. 2000. Vol. 10, no. 6. Pp. 669–672.
18. Dulamsuren C., Hauck M., Leuschner H.H., Leuschner C. Climate Response of Tree-Ring Width in *Larix sibirica* Growing in the Drought-Stressed Forest-Steppe Ecotone of Northern Mongolia // Annals of Forest Science. 2011. Vol. 68, iss. 2. Pp. 275–282.
19. Jacoby G.J., D'Arrigo R., Pederson N., Buckley B., Dugarjav C., Mijiddorj R. Temperature and Precipitation in Mongolia Based on Dendroclimatic Investigation // IAWA Journal. 1999. Vol. 20, iss. 3. Pp. 339–354.
20. Moritz R.E., Bitz C.M., Steig E.J. Dynamics of Recent Climate Change in the Arctic // Science. 2002. Vol. 297, iss. 5586. Pp. 1497–1502.
21. Serreze M.C., Walsh J.E., Chapin III F.S., Osterkamp T., Dyurgerov M., Romanovsky V., Oechel W.C., Morison J., Zhang T., Barry R.G. Observational Evidence of Recent Change in the Northern High-Latitude Environment // Climatic Change. 2000. Vol. 46, iss. 1-2. Pp. 159–207.

22. Sivakumar M.V.K., Das H.P., Brunini O. Impacts of Present and Future Climate Variability and Change on Agriculture and Forestry in the Arid and Semi-Arid Tropics // Climatic Change. 2005. Vol. 70, iss. 1-2. Pp. 31–72.

Поступила 15.09.17

UDC 630*23(470.45)

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.9

Experience, Status and Prospects of *Pinus sylvestris* L. Planting in the Steppe Pine Forests of Eastern Transbaikalia

V.P. Makarov, Candidate of Biological Sciences, Senior Research Officer

Yu.V. Zima, Candidate of Geographic Sciences, Research Officer

O.F. Malykh, Research Officer

E.A. Banshchikova, Postgraduate Student

Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology of the Siberian Branch of the RAS, ul. Nedorezova, 16a, Chita, Zabaykalsky Krai, 672014, Russian Federation; e-mail: vm2853@mail.ru

The paper presents the studies of *Pinus sylvestris* L. plantations in the Tsasucheysky and Tsyrik-Narasun steppe pine forests in the southeast of the Transbaikalian Territory in the context of high aridity of the area – an increase in the average annual air temperature, a decrease in the annual amount of precipitation, and frequent steppe and forest fires. Based on the research of V.V. Ogievsky and P.A. Bondar', the authors consider the experience and history of forest planting in the Trans-Baikal Territory in the 60–70's of the 20th century. Optimal terms, methods of soil preparation, planting and the possibility of planting under certain conditions by direct drilling are established. A modern assessment of pine cultures created mainly in the 70s in the last century in the steppe pine forests is given. They are characterized by low conservation (2...18 %) associated with forest fires and precipitation deficit. Natural regeneration of pine is assessed as satisfactory in plots with a poor grass cover and treated soil. Healthy trees predominate in the stands in most of the studied areas. Large creeping fires significantly affect the decline in the living conditions of pine. The dynamics of growth of pine plantations is mainly related to the average annual total precipitation, air temperature of the first half of the vegetation period, density of planting and the influence of fires. To preserve steppe pine forests in conditions of increasing aridity of the territory, the authors recommend to strengthen preventive measures for steppe and forest fires, to promote natural regeneration of pine, and to improve methods of creating forest cultures.

Keywords: Eastern Transbaikalia, climate change, forest fire, steppe pine forest, state of pine plantations.

REFERENCES

1. Bobrinev V.P., Pak L.N. Effektivnost' vyrashchivaniya lesnykh kul'tur krupnomernym posadochnym materialom v Vostochnom Zabaykal'e [Effectiveness of Growing Forest Plants Using Large-Sized Planting Material in East Transbaikalye]. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestia of Orenburg State Agrarian University], 2016, no. 2(58), pp. 40–42.

For citation: Makarov V.P., Zima Yu.V., Malykh O.F., Banshchikova E.A. Experience, Status and Prospects of *Pinus sylvestris* L. Planting in the Steppe Pine Forests of Eastern Transbaikalia. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 9–22. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.9

2. Bondar' P.A. Iskusstvennoe lesovosstanovlenie na vostoке Zabaykal'ya [Artificial Reforestation in Eastern Transbaikalia]. *Okhrana i vosstanovlenie lesov Zabaykal'ya* [Protection and Reforestation in Transbaikalia]. Krasnoyarsk, Institute of Forest SB RAS Publ., 1977, pp. 91–114. (In Russ.)

3. Vakhnina I.L. Analiz dinamiki shiriny godichnykh kolets sosny obyknovennoy v usloviyakh Vostochnogo Zabaykal'ya [Tree-Ring Analysis of Common Pine in East Transbaikalia]. *Izvestiya Irkutskogo universiteta* [The Bulletin of Irkutsk State University], 2011, no. 3(4), pp. 13–17.

4. Dvoret'skiy N.I. *Izmenchivost' sosny obyknovennoy v Vostochnom Zabaykal'e*: dis. ... kand. biol. nauk [The Variability of Scots Pine in Eastern Transbaikalia: Cand. Biol. Sci. Diss.]. Krasnoyarsk, 1996. 103 p.

5. Larionova A.Ya. Genetic Variability in Scotch Pine in the Southeastern Part of Its Range. *Genetika* [Russian Journal of Genetics], 2002, no. 12(38), pp. 1641–1648.

6. Makarov V.P. Sostoyanie ostrovnogo sosnovogo bora v stepnoy zone Zabaykal'ya [State of the Insular Pine Forest in the Transbaikalian Steppe Zone]. *Aridnye ekosistemy* [Arid Ecosystems], 2015, vol. 21, no. 3(64), pp. 56–63.

7. Makarov V.P., Malykh O.F. Sostoyanie stepnogo sosnovogo bora v Zabaykal'skom krae posle lesnykh pozharov [State of Steppe Pine Forest in the Chita Region after Forest Fires]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2016, no. 3, pp. 90–93.

8. Makarov V.P., Milyutin L.I. Mnogoletnyaya dinamika posevnykh kachestv sosny obyknovennoy v sukhostepnoy zone Zabaykal'skogo kraya [Long-Term Dynamics of Sowing Qualities of Scots Pine in the Dry Zone of the Trans-Baikal Territory]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in Current Natural Sciences], 2015, no. 4, pp. 129–133.

9. *Metodicheskie ukazaniya po planirovaniyu, proektirovaniyu, priemke, inventarizatsii, spisaniyu ob"ektov lesovosstanovleniya i lesorazvedeniya i otsenke effektivnosti meropriyatiy po lesovosstanovleniyu i lesorazvedeniyu* [Methodological Instructional Regulations for Planning, Design, Acceptance, Inventory, Retirement of Reforestation and Afforestation Objects and Assessment of Efficiency of Reforestation and Forest Management Activities]. Moscow, ARRISMF Publ., 2011. 98 p. (In Russ.)

10. Ogievskiy V.V. *Iskusstvennoe lesorazvedenie v Sibiri* [Artificial Afforestation in Siberia]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1962. 175 p. (In Russ.)

11. Pak L.N., Bobrinev V.P. Prizhivaemost', sokhrannost' i rost lesnykh kul'tur sosny v Tsasuchey'skom boru [Survival, Preservation and Growth of Pine Forest Cultures in Chasuchey'skiy Forest]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra RAN* [Proceedings of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences], 2013, no. 3-3(15), pp. 1056–1059.

12. Strel'nikov V.G. *Priroda Aginskoy stepi* [The Nature of the Aginsk Steppe]. Chita, Transbaikalian SPU Publ., 2000. 270 p. (In Russ.)

13. Popov S.D., Preobrazhenskiy V.S., eds. *Tipy mestnosti i prirodnoe rayonirovanie Chitinskoй oblasti* [Types of Locality and Natural Zoning of the Chita Region]. Moscow, AS SSSR Publ., 1961. 158 p. (In Russ.)

14. Batima P. Climate Change Vulnerability and Adaptation in the Livestock Sector of Mongolia. *A Final Report Submitted to Assessments of Impacts and Adaptations to Climate Change (AIACC), Project No. AS 06*. Washington DC, USA, 2006. 105 p.

15. Batima P., Natsagdorj L., Gombluudev P., Erdenetssetseg B. Observed Climate Change in Mongolia. *AIACC Workings Papers No. 12. June 2005*. Washington DC, USA, 2005. 25 p.

16. Breshears D.D., Cobb N.S., Rich P.M., Price K.P., Allen C.D., Balice R.G., Romme W.H., Kastens J.H., Floyd M.L., Belnap J., Anderson J.J., Myers O.B., Meyer C.W. Regional Vegetation Die-Off in Response to Global-Change-Type Drought. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA*, 2005, vol. 102, no. 42, pp. 15144–15148.

17. D'Arrigo R., Jacoby G., Pederson N., Frank D., Buckley B., Nachin B., Mijiddorj R., Dugarjav C. Mongolian Tree-Rings, Temperature Sensitivity and Reconstructions of Northern Hemisphere Temperature. *The Holocene*, 2000, vol. 10, no. 6, pp. 669–672.

18. Dulamsuren C., Hauck M., Leuschner H.H., Leuschner C. Climate Response of Tree-Ring Width in *Larix sibirica* Growing in the Drought-Stressed Forest-Steppe Ecotone of Northern Mongolia. *Annals of Forest Science*, 2011, vol. 68, iss. 2, pp. 275–282.

19. Jacoby G.J., D'Arrigo R., Pederson N., Buckley B., Dugarjav C., Mijiddorj R. Temperature and Precipitation in Mongolia Based on Dendroclimatic Investigation. *IAWA Journal*, 1999, vol. 20, iss. 3, pp. 339–354.

20. Moritz R.E., Bitz C.M., Steig E.J. Dynamics of Recent Climate Change in the Arctic. *Science*, 2002, vol. 297, iss. 5586, pp. 1497–1502.

21. Serreze M.C., Walsh J.E., Chapin III F.S., Osterkamp T., Dyurgerov M., Romanovsky V., Oechel W.C., Morison J., Zhang T., Barry R.G. Observational Evidence of Recent Change in the Northern High-Latitude Environment. *Climatic Change*, 2000, vol. 46, iss. 1-2, pp. 159–207.

22. Sivakumar M.V.K., Das H.P., Brunini O. Impacts of Present and Future Climate Variability and Change on Agriculture and Forestry in the Arid and Semi-Arid Tropics. *Climatic Change*, 2005, vol. 70, iss. 1-2, pp. 31–72.

Received on September 15, 2017

УДК 630*221.04:630*164.3:631.466.12

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.23

ВЛИЯНИЕ НЕСПЛОШНОЙ РУБКИ НА ТОНКИЕ КОРНИ И МИКОРИЗНЫЕ ОКОНЧАНИЯ ЕЛИ ОБЫКНОВЕННОЙ*

А.Ю. Карпечко, канд. с.-х. наук, науч. сотр.

Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук,
ул. Пушкинская, д. 11, г. Петрозаводск, Республика Карелия, Россия, 185910;
e-mail: yuvkarp@onego.ru

Перемещение лесохозяйственных машин под пологом леса неизбежно влечет негативные последствия, которые затрагивают в первую очередь корневые системы деревьев. В то же время при разреживании древостоя происходит снижение конкуренции между оставшимися деревьями (как для их надземной, так и подземной части), изменяется влажность почвы, улучшается световой режим. Известно, что все лесообразующие породы имеют эктомикоризы. В таежной зоне, где преобладают относительно бедные почвы с замедленным процессом минерализации органических веществ, микоризы особенно полезны, так как благодаря им корни растений получают больше элементов питания из минеральных и органических соединений. Цель работы – исследование реакции корней и микоризных окончаний, оставшихся после рубки (механизированного разреживания) деревьев, на изменившиеся условия произрастания. Изучались корневые системы елового элемента древостоя на пробных площадях в Республике Карелия (среднетаежная подзона). Оценивалось их состояние через 5 и 14 лет после рубки. Использовался метод монолитов, отбираемых в технологических коридорах и пасаках по всей площади участка. Были выделены простая и папоротниковидная формы микориз ели. Установлено, что в технологическом коридоре масса корней после рубки уменьшается и на ее восстановление в данных условиях требуется не менее 14 лет. Формирование микоризных окончаний происходит достаточно быстро. Через 5 лет после проведения рубки плотность микоризных окончаний на корнях, сохранившихся в технологических коридорах, составляет как минимум 54 % от фоновых значений на пасаках. В отдельных случаях наблюдается активное восстановление количества микоризных окончаний, и плотность их размещения в коридоре становится больше, чем в пасаке. Снижение корневой конкуренции, увеличенный световой поток, достигающий поверхности почвы в зоне технологического коридора, являются положительными факторами в процессе развития тонких корней и микоризных окончаний. Результаты работы могут быть использованы для оценки экологических последствий сплошных рубок, которые активно применяют для удовлетворения потребностей в древесине.

Ключевые слова: корни, микоризные окончания, сплошная рубка, технологический коридор, пасака.

Введение

Разреживание является не только одним из важных лесохозяйственных мероприятий ухода за лесом, но и источником древесного сырья. В настоящее

*Финансовое обеспечение исследований осуществлялось из средств федерального бюджета на выполнение государственного задания Института леса КарНЦ РАН (0220-2017-0001).

Для цитирования: Карпечко А.Ю. Влияние сплошной рубки на тонкие корни и микоризные окончания ели обыкновенной // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 23–32. (Иzv. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.23

время в связи со значительным истощением лесосырьевой базы ресурсная составляющая несплошных рубок становится весомере. Рубки леса приводят к изменению условий среды: освещенности, влажности, температуры, плотности и структуры почвы. Это сказывается на корневой системе, особенно на тонких корнях, как ее наиболее активной части, выполняющей погложительную, выделительную, синтетическую, проводящую и, частично, запасающую функции.

Важная характеристика, определяющая условия жизни растений, – плотность почвы, от которой зависят воздушный, водный и тепловой режимы. Наиболее существенные изменения наблюдаются в поверхностных горизонтах почвы технологических коридоров вследствие передвижения лесохозяйственных машин [14]. Нарушение почвенной поверхности снижает функционирование корневой системы и, как следствие, уменьшает прирост древесины [7, 11–13]. Машин, перемещающиеся под пологом леса, также наносят корням механические повреждения, что приводит к ухудшению жизнедеятельности дерева [1].

Относительно низкие среднегодовые температуры и короткий вегетационный период, характерные для таежной зоны, обуславливают замедленную минерализацию органических веществ и преобладание грубогумусных почв, бедных элементами питания. Это является благоприятным фоном для симбиоза высшего растения с грибом [9]. Все основные лесобразующие породы имеют эктомикоризы, при этом корневые волоски отсутствуют и сосущие окончания корней изолированы от почвы грибным чехлом [8]. В лесных экосистемах эктомикоризные грибы ассоциированы почти со всеми всасывающими корнями древесных растений и могут составлять до 1/3 микробной биомассы в почве [15]. За счет развитого мицелия увеличивается поглощающая поверхность корня, что повышает поступление в растение воды и питательных веществ [9, 10, 16].

После рубки корневые системы оставшихся деревьев растут и формируются в изменившихся условиях, происходит снижение конкуренции за воду и питательные вещества. Минерализация органического вещества корней вырубленных деревьев дополнительно обогащает почву. Сгнившие корни нарушают ее монолитность, что облегчает освоение почвы живым корням [2]. Основным показателем, характеризующим процесс адаптации корневых систем к изменившимся условиям среды, является масса корней на единице площади (корненасыщенность). Отслеживая этот показатель, можно судить о скорости освоения почвы корневыми системами оставшихся после рубки деревьев.

В связи с широкой распространенностью, а также важным участием микоризы в питании растения необходимо изучение реакций микоризных корневых окончаний на изменение условий произрастания после разреживания. Это позволит оценить экологические последствия лесохозяйственного мероприятия и его влияние на продуктивность древостоя в длительной перспективе.

Изучение состояния корневых систем насаждений представляет собой существенный компонент оценки последствий несплошных рубок, которые активно используются для удовлетворения потребностей в древесине.

Цель работы – изучение реакции корней, а также формы и количества микоризных окончаний, их длины и плотности размещения на корне при изменении условий произрастания после разреживания.

Объекты и методы исследования

Работы проводились на пробных площадях (ПП) в южной части Карелии (среднетаежная подзона), заложенных в ельниках черничных свежих,

пройденных несплошными рубками разной давности. Площадь ПП – 0,2 га. Рубки в насаждениях, где были собраны экспериментальные данные, выполнены в производственном порядке с применением бензомоторных пил; транспортировка древесины в виде сортиментов во время лесосечных работ осуществлена по заранее подготовленным технологическим коридорам с использованием форвардера-сортиментовоза ЛТ-189. Ширина коридора – 4 м.

Почва модергумусная среднеподзолистая суглинистая. Более подробные характеристики опытных объектов представлены в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика древостоев

ПП	Состав	Средние		Относительная полнота	Запас, м ³ /га	Выборка по запасу, %	Давность рубки, лет
		диаметр, см	высота, м				
1	5E ₇₀ 2C1B2Oc	16	15	0,7	238	30	14
2	5E ₁₄₅ 2E ₉₀ 1B2Oc едС	22	19	0,6	173	21	5
3	6E ₁₃₀ 3E ₉₀ 1B+Oc едС	18	17	0,6	145	20	5
4	2E ₁₁₀ 5E ₁₇₀ 1B2Oc+С	24	19	0,6	166	23	5

При взятии образцов для определения корненасыщенности использовали метод монолитов [4, 5], отбираемых по всей площади участка (по 10 шт. в технологическом коридоре и в пасеке). Размер монолита – 10 × 10 см, глубина образца – 20 см, поскольку это наиболее корнеобитаемый слой почвы, к тому же подвергающийся значительному воздействию лесозаготовительной техники. Из монолита (отдельно из подстилки и минерального слоя почвы) извлекали корни ели диаметром до 3 мм, сушили до абсолютно-сухого состояния, взвешивали и рассчитывали корненасыщенность. В среднем на всех ПП мощность почвенного горизонта (лесной подстилки) составляла 7 см. Дополнительно отбирали образцы, из которых отдельно извлекали корни предпоследнего порядка общей длиной с каждого образца не менее 10 см. Далее образцы корневых систем фотографировали и анализировали полученные фотографии. Учитывали микоризы, их форму, количество и длину каждой из выделенных форм. В ходе количественного анализа сосущих окончаний измеряли длину несущих корней, отобранных в каждом из образцов. В дальнейшем осуществляли пересчет числа окончаний на единицу длины несущего корня (плотность размещения микориз) [6].

Результаты исследования и их обсуждение

На всех изучаемых ПП при давности рубки 14 (ПП 1) и 5 (ПП 2–4) лет в 20-сантиметровом слое почвы общая масса корней ели диаметром до 3 мм больше в пасеке, чем в технологическом коридоре (табл. 2).

Таблица 2

Масса корней (кг/м²) диаметром до 3 мм в 20-сантиметровом слое почвы

ПП	Коридор	Пасека	Разница, %
1	0,08±0,02	0,09±0,01	–11
2	0,08±0,01	0,18±0,03	–56
3	0,08±0,01	0,26±0,03	–69
4	0,01±0,003	0,05±0,01	–80

При рассмотрении массы корней отдельно по почвенным горизонтам (табл. 3) можно отметить, что в большинстве случаев и в лесной подстилке, и в минеральном слое почвы пасека также больше насыщена корнями, чем технологический коридор.

Таблица 3

Масса корней (кг/м²) диаметром до 3 мм в верхних почвенных горизонтах

ПП	Лесная подстилка			Минеральный горизонт		
	Коридор	Пасека	Разница, %	Коридор	Пасека	Разница, %
1	0,07	0,05	+40	0,009	0,04	-78
2	0,05	0,07	-29	0,03	0,11	-73
3	0,03	0,15	-80	0,05	0,10	-50
4	0,006	0,04	-85	0,008	0,01	-20

Отдельно можно выделить ПП 1, где рубка была проведена 14 лет назад. Плотность почвы в технологическом коридоре, которая увеличивается во время лесохозяйственных работ, с ростом давности рубки становится близкой к фоновому значению [3]. Согласно полученным данным, на ПП 1 (давность рубки 14 лет) разница между плотностью почвы в коридоре и пасеке составляет всего 3 %, тогда как на ПП 2–4 (давность рубки 5 лет) этот показатель достигает 13 %. Снижение плотности почвы положительно сказывается на массе корней. Необходимо также отметить, что насаждение, где заложена ПП 1, является самым молодым из изучаемых древостоев – 80 лет, тогда как возраст других составляет 110–145 лет. К возрасту 110–145 лет энергия роста корней уже снижена, и они не могут быстро реагировать на изменения условий среды [2]. На ПП 1 отмечены наименьшая разница (11 %) в общей массе корней ели в 20-сантиметровом слое почвы между коридором и пасекой (см. табл. 2) и преобладание корней в лесной подстилке коридора над пасекой (табл. 3). Это объясняется тем, что корневые системы древостоев в возрасте 80 лет отличаются большей энергией роста. За время после рубки они освоили лесную подстилку, нарастив свою массу.

Таким образом, площадь технологического коридора после несплошной рубки в меньшей степени заселена корнями по сравнению с пасекой, где нет воздействия движителей лесохозяйственных машин. Со временем разница в корненасыщенности между коридором и пасекой сглаживается, корни стремятся занять коридор, где корневая конкуренция значительно ниже, освещенность выше, чем в пасеке.

В ходе исследования сосущих окончаний корней были выделены две основные формы микориз ели: простая (удлиненно-булавовидная, как правило, с округлым кончиком) и папоротниковидная (моноподиально ветвящиеся микоризные окончания). Цвет микориз варьировал от светло-коричневого до черного.

Микоризных окончаний простой формы больше, чем папоротниковидных на всех участках (табл. 4).

Таблица 4

Плотность размещения (шт./мм) микоризных окончаний

Форма микоризного окончания	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор
Простая	0,042	0,065	0,073	0,040	0,079	0,077	0,080	0,058
Папоротниковидная	0,019	0,042	0,042	0,025	0,028	0,035	0,036	0,035

На ПП 1 плотность размещения микориз на корне в коридоре выше по сравнению с пашкой. Это относится к микоризам простой (в 1,5 раза) и папоротниковидной (более чем в 2 раза) формы. Как уже отмечалось, ПП 1 отличается давностью рубки (14 лет). Соответственно, масса корней и микоризные окончания за этот срок успевают восстановиться. Кроме того, здесь древостой имеет меньший возраст. Дополнительным положительным фактором для развития микоризных окончаний в коридоре являются снижение корневой конкуренции и то, что почва в коридорах благодаря значительно большему световому потоку, достигающему ее поверхности, прогревается лучше.

На ПП 2–4, где давность рубки составляет 5 лет, плотность размещения микориз в большинстве случаев выше в пашке. Это характерно как в целом для 20-сантиметрового слоя почвы, так и отдельно для лесной подстилки и минерального слоя почвы (табл. 4, 5).

Таблица 5

**Плотность размещения (шт./мм) микоризных окончаний
в лесной подстилке (числитель) и минеральном слое почвы (знаменатель)**

Форма микоризного окончания	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Па-сека	Кори-дор	Па-сека	Кори-дор	Па-сека	Кори-дор	Па-сека	Кори-дор
Простая	<u>0,041</u>	<u>0,072</u>	<u>0,090</u>	<u>0,036</u>	<u>0,108</u>	<u>0,077</u>	<u>0,070</u>	<u>0,046</u>
	0,043	0,058	0,063	0,048	0,048	0,077	0,084	0,069
Папорот-никовидная	<u>0,021</u>	<u>0,035</u>	<u>0,040</u>	<u>0,025</u>	<u>0,030</u>	<u>0,041</u>	<u>0,024</u>	<u>0,027</u>
	0,017	0,041	0,044	0,068	0,025	0,028	0,045	0,042

Необходимо отметить, что в отдельных случаях во время работы было сложно отнести корни конкретно к какому-либо почвенному слою, так как они находились на стыке подстилки с нижележащим минеральным горизонтом. Этим можно объяснить некоторые отклонения от общей тенденции при рассмотрении плотности микориз отдельно по горизонтам. В то же время данные о распределении корней и микоризных окончаний по горизонтам необходимы для понимания структуры и функционирования корневых систем.

Разница в плотности размещения микориз между технологическим коридором и пашкой колеблется от 54 до 125 % в зависимости от степени поврежденности почвенной поверхности, т. е. от экологических условий (см. табл. 4).

Показатель средней длины микоризного окончания на всех изучаемых объектах варьирует: у простых микориз – от 1,50 до 2,55 мм, у папоротниковидных – от 10,45 до 17,14 мм (табл. 6).

На ПП 1 (давность рубки 14 лет) микоризы обеих форм в технологическом коридоре короче, чем в пашке. Это относится и к общему 20-сантиметровому слою почвы (простые микоризы здесь на 21 % длиннее в пашке, а папоротниковидные – на 27 %) и отдельно к подстилке и минеральному слою почвы (в подстилке простые микоризы длиннее на 21 %, папоротниковидные – на 41 %; в минеральном слое простые длиннее на 22 % в пашке, папоротниковидные – на 7 %) (табл. 7).

Таблица 6

Средняя длина (мм) микоризных окончаний

Форма микоризного окончания	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор
Простая	2,45±0,15	1,93±0,09	1,76±0,08	2,55±0,19	1,50±0,04	1,78±0,06	2,16±0,11	2,41±0,12
Папоротниковидная	17,14±1,29	12,50±0,64	13,93±0,78	14,42±0,99	11,14±0,47	10,45±0,43	14,06±0,95	15,02±1,02

Примечание. Здесь и далее, в табл. 7, приведены данные с ошибкой определения.

Таблица 7

Средняя длина (мм) микоризных окончаний в лесной подстилке (числитель) и минеральном слое почвы (знаменатель)

Форма микоризного окончания	ПП 1		ПП 2		ПП 3		ПП 4	
	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор	Пасека	Коридор
Простая	2,57±0,25	2,02±0,15	1,29±0,08	2,31±0,21	1,36±0,04	1,68±0,08	2,36±0,20	2,76±0,19
Папоротниковидная	2,37±0,19	1,86±0,09	2,28±0,13	2,86±0,32	1,85±0,08	1,88±0,09	2,01±0,13	2,20±0,15
	21,73±2,23	12,84±1,20	12,17±1,22	14,30±1,16	9,53±0,60	9,92±0,53	12,46±1,33	15,56±1,92
	13,18±1,12	12,32±0,75	15,14±0,99	14,84±1,85	13,26±0,73	11,28±0,70	14,79±1,23	14,38±1,18

С течением времени, когда плотность почвы приблизится к фоновому значению, в технологическом коридоре плотность микоризных окончаний становится больше при их небольшой длине. Обратная картина в пасеке, где, по-видимому, меньшее количество микоризных окончаний, увеличивая свою длину, стремится занять больший объем почвы.

На ПП 2–4 (давность рубки 5 лет), где в подавляющем большинстве случаев корней и микориз больше в пасеке, длина микоризных окончаний напротив больше в технологическом коридоре. Так, на ПП 2 в 20-сантиметровом слое почвы простые микоризные окончания длиннее на 31 % в коридоре, папоротниковидные – на 4 % (см. табл. 6). Похожая картина отмечена отдельно и в лесной подстилке, и в минеральном слое почвы (табл. 7). Почвенный слой в технологических коридорах, нарушенный во время лесохозяйственных работ, препятствует нарастанию массы корней и микоризных окончаний.

Заключение

После рубки происходит значительное снижение массы корней в зоне технологического коридора. Корневые системы деревьев вновь заселяют эту зону в течение длительного времени. Скорость процесса зависит от первоначальной степени поврежденности почвенного субстрата. При значительной поврежденности почвы восстановление занимает больше времени. Кроме того, на процесс восстановления влияет возраст древостоя, в котором проведена рубка. После 80 лет происходит снижение энергии роста корневых систем, что также замедляет восстановление корневой массы. Данное обстоятельство должно учитываться при назначении несплошных рубок в древостоях старших возрастов. В них особое значение приобретает максимально возможное сохранение корневых систем в зонах проезда техники, в том числе и путем оптимизации размещения транспортной сети, предпочтительного проведения рубки в зимний сезон с установившимся снежным покровом и промерзшей почвой.

Формирование микоризных окончаний происходит достаточно быстро. Через 5 лет после проведения рубки их плотность на корнях, сохранившихся в технологическом коридоре, составляет более 54 % от фоновых значений в пасеке. В отдельных случаях наблюдается активное восстановление количества микоризных окончаний, плотность их размещения в коридоре становится больше, чем в пасеке. Условия, создающиеся в коридоре (снижение корневой конкуренции, увеличение светового потока, достигающего поверхности почвы), являются положительными факторами для развития тонких корней и микоризных окончаний.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зарубина Л.В., Коновалов В.Н., Феклистов П.А., Клевцов Д.Н., Копытков В.В. Оценка состояния хвойных деревьев на вырубках в условиях Европейского Севера // Вестн. САФУ. Сер. «Естественные науки». 2015. № 1. С. 85–94.
2. Калинин М.И. Формирование корневой системы деревьев. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 152 с.
3. Карпечко А.Ю. Изменение плотности и корненасыщенности почв под влиянием лесозаготовительной техники в еловых лесах южной Карелии // Лесоведение. 2008. № 5. С. 66–70.

4. Орлов А.Я. Метод определения массы корней деревьев в лесу и возможность учета годового прироста органической массы в толще лесной почвы // Лесоведение. 1967. № 1. С. 64–70.
5. Рахтеенко И.Н. Рост и взаимодействие корневых систем древесных растений. Минск: АН БССР, 1963. 254 с.
6. Семенова Л.А. Морфология микориз сосны обыкновенной в спелых лесах // Микоризные грибы и микоризы лесообразующих пород Севера. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1980. С. 103–132.
7. Сюнёв В.С., Соколов А.П., Коновалов А.П., Катаров В.К., Селиверстов А.А., Герасимов Ю.Ю., Карвинен С., Вяльккю Э. Сравнение технологий лесосечных работ в лесозаготовительных компаниях Республики Карелия. Йоэнсуу: НИИ леса Финляндии METLA, 2008. 126 с.
8. Шубин В.И. Микотрофность древесных пород, ее значение при разведении леса в таежной зоне. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1973. 264 с.
9. Шубин В.И. Пути использования микотрофии древесных пород в лесном хозяйстве таежной зоны. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1983. 40 с.
10. Bowen G.D. The Ecology of Ectomycorrhiza Formation and Functioning // Plant and Soil. 1994. Vol. 159, iss. 1. Pp. 61–67.
11. Jonsson Y. Mekaniserade metoder i gallringen // Skogs-O. Landlr.-Skad. Tidskrift. 1976. 113 p.
12. Kardell L. Traktorskadorna och tillväxtförluster hos gran – analys av ett 10-årigt försök // Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift. 1978. No. 3. Pp. 305–322.
13. Murphy G. Soil Damage Associated with Production Thinning // New Zealand Journal of Forestry Science. 1982. Vol. 12, iss. 2. Pp. 281–292.
14. Nadezhdina N., Čermak J., Neruda J., Prax A., Ulrich R., Nadezhdin V., Gaspárek J., Pokorný E. Roots under the load of heavy machinery in spruce trees // European Journal of Forest Research. 2006. Vol. 125, iss. 2. Pp. 111–128.
15. Wallander H., Nilsson L.O., Hagerberg D., Bååth E. Estimation of the Biomass and Seasonal Growth of External Mycelium of Ectomycorrhizal Fungi in the Field // New Phytologist. 2001. Vol. 151, iss. 3. Pp. 753–760.
16. Wallander H., Wickman T., Jacks G. Apatite as P Source in Mycorrhizal and Non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* Seedlings // Plant and Soil. 1997. Vol. 196, iss. 1. Pp. 123–131.

Поступила 15.12.17

UDC 630*221.04:630*164.3:631.466.12
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.23

The Effect of Partial Cutting on Tender Roots and Mycorrhiza of Norway Spruce

A.Yu. Karpechko, Candidate of Agricultural Sciences, Research Officer

Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences, ul. Pushkinskaya, 11, Petrozavodsk, 185910, Russian Federation; e-mail: yuvkarp@onego.ru

Tree root systems often are affected by the forestry machinery movement under the forest canopy. At the same time, thinning has a positive effect in decreasing competition between

For citation: Karpechko A.Yu. The Effect of Partial Cutting on Tender Roots and Mycorrhiza of Norway Spruce. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 23–32. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.23

remaining trees (both for their aboveground and underground parts); the soil moisture changes and the light regime improves. All forest-forming species have ectomycorrhizae. Mycorrhizas are especially useful in the taiga zone where relatively poor soils with the slow mineralization process of organic substances predominate, since plant roots receive more nutrition elements from mineral and organic compounds. The goal of research is to study the reaction of roots and mycorrhizas left after felling (mechanized thinning) to the changed conditions of growth. The root systems of the spruce element of the stand were studied in permanent sample plots in the Republic of Karelia (middle taiga subzone). Their condition was estimated in 5 and 14 years after cutting. We used the method of monoliths selected in technological corridors and swaths throughout the area of the site. Simple and ferny forms of spruce mycorrhiza were observed. The root mass was reduced significantly after felling in the technological corridor and could be restored in at least 14 years. Mycorrhiza formation occurred quickly enough. 5 years after felling, the mycorrhiza density on the roots preserved in the technological corridors reached at least 54 % of the background values in the swaths. In some cases, we observed an active restoration of mycorrhiza; their density in the technological corridor was higher than in the swath. Reduction of root competition, increased luminous flux reaching the soil surface in the zone of the technological corridor, are positive factors in the development of tender roots and mycorrhiza. The results of the study can be used to assess the environmental consequences of partial cutting, which is a remarkable wood sourcing.

Keywords: root, mycorrhiza, partial cutting, technological corridor, swath.

REFERENCES

1. Zarubina L.V., Konovalov V.N., Feklistov P.A., Klevtsov D.N., Kopytkov V.V. Otsenka sostoyaniya khvoynykh derev'ev na vyrubkakh v usloviyakh Evropeyskogo Severa [Conifers Stand Condition Assessment in the Fellings in a Climate of the European North]. *Vestnik Severnogo (Arkticheskogo) federal'nogo universiteta. Ser.: Estestvennye nauki*, 2015, no. 1, pp. 85–94.
2. Kalinin M.I. *Formirovaniye kornevoy sistemy derev'ev* [Formation of the Tree Root System]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 152 p. (In Russ.)
3. Karpechko A.Yu. Izmeneniye plotnosti i kornenasyshchennosti pochv pod vliyaniem lesozagotovitel'noy tekhniki v elovykh lesakh yuzhnoy Karelii [Changes in Density and Root Occupation of Soils under the Influence of Logging Machines in Spruce Forests of South Karelia]. *Lesovedeniye* [Russian Journal of Forest Science], 2008, no. 5, pp. 66–70.
4. Orlov A.Ya. Metod opredeleniya massy korney derev'ev v lesu i vozmozhnost' ucheta godichnogo prirosta organicheskoy massy v tolshe lesnoy pochvy [Method for Determining the Mass of Tree Roots in the Forest and Accounting for the Annual Increase in the Organic Mass in the Forest Soil Depth]. *Lesovedeniye* [Russian Journal of Forest Science], 1967, no. 1, pp. 64–70.
5. Rakhtenko I.N. *Rost i vzaimodeystvie kornevykh sistem drevesnykh rasteniy* [Growth and Interaction of Root Systems of Woody Plants]. Minsk, AS BSSR Publ., 1963. 254 p. (In Russ.)
6. Semenova L.A. Morfologiya mikoriz sosny obyknovennoy v spelykh lesakh [Mycorrhizal Morphology of Scots Pine in Mature Forests]. *Mikoriznye griby i mikorizy lesoobrazuyushchikh porod Severa* [Mycorrhizal Fungi and Mycorrhizas of Forest-Forming Species of the North]. Petrozavodsk, Karelian Branch AS USSR Publ., 1980, pp. 103–132. (In Russ.)
7. Syunev V.S., Sokolov A.P., Konovalov A.P., Katarov V.K., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Karvinen S., Vyal'kkyu E. Sravneniye tekhnologiy lesosechnykh rabot v lesozagotovitel'nykh kompaniyah Respubliki Kareliya [The Comparison of Logging

Technology in Lumber Companies in the Republic of Karelia]. NII lesa Finlyandii METLA [Finnish Forest Research Institute (Metla)], 2008. 126 p. (In Russ.)

8. Shubin V.I. *Mikotrofnost' drevesnykh porod, ee znachenie pri razvedenii lesa v taezhnoy zone* [Woody Plants Mycotrophy and Its Importance for the Forest Cultivation in the Taiga Zone]. Leningrad, Nauka Publ., 1973. 264 p. (In Russ.)

9. Shubin V.I. Puti ispol'zovaniya mikotrofii drevesnykh porod v lesnom khozyaystve taezhnoy zony [Ways to Use Woody Species Mycotrophy in the Taiga Forestry]. Petrozavodsk, Karelian Branch AS USSR Publ., 1983. 40 p. (In Russ.)

10. Bowen G.D. The Ecology of Ectomycorrhiza Formation and Functioning. *Plant and Soil*, 1994, vol. 159, iss. 1, pp. 61–67.

11. Jonsson Y. Mekaniserade metoder i gallringen. *Skogs-O. Landlr.-Skad. Tidskrift*, 1976. 113 p.

12. Kardell L. Traktorskador och tillväxtförluster hos gran – analys av ett 10-årigt försök. *Sveriges skogsvårdsförbunds tidskrift*, 1978, no. 3, pp. 305–322.

13. Murphy G. Soil Damage Associated with Production Thinning. *New Zealand Journal of Forestry Science*, 1982, vol. 12, iss. 2, pp. 281–292.

14. Nadezhdina N., Čermak J., Neruda J., Prax A., Ulrich R., Nadezhdin V., Gasparek J., Pokorný E. Roots under the Load of Heavy Machinery in Spruce Trees. *European Journal of Forest Research*, 2006, vol. 125, iss 2, pp. 111–128.

15. Wallander H., Nilsson L.O., Hagerberg D., Bååth E. Estimation of the Biomass and Seasonal Growth of External Mycelium of Ectomycorrhizal Fungi in the Field. *New Phytologist*, 2001, vol. 151, iss. 3, pp. 753–760.

16. Wallander H., Wickman T., Jacks G. Apatite as P Source in Mycorrhizal and Non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* Seedlings. *Plant and Soil*, 1997, vol. 196, iss. 1, pp. 123–131.

Received on December 15, 2017

УДК 630*524.34:674.032.475.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.33

ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ СОСНЯКОВ В ЛЕНТОЧНЫХ БОРАХ АЛТАЙСКОГО КРАЯ

А.Е. Осипенко, асп.

С.В. Залесов, д-р с.-х. наук, проф.

Уральский государственный лесотехнический университет,
Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100;
e-mail: osipenko_alexey@mail.ru, Zalesov@usfeu.ru

В ленточных борах Алтайского края наряду с посадкой чистых сосновых лесных культур широко практиковалось их создание кулисным способом в смешении сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) с ивой остролистной (*Salix acutifolia* Willd.). В 90-е гг. XX в. эта практика была прекращена. Целесообразно оценить производительность таких древостоев пока еще можно определить, какие искусственные сосняки создавались с предварительным шелюгованием. Исследования проведены в Барнаульском ленточном бору на территории Рубцовского и Угловского административных районов Алтайского края с 2013 по 2016 г. Лесорастительные условия района: резко континентальный климат, продолжительная холодная зима и короткое жаркое лето; небольшое (250...350 мм/год) количество осадков; песчаные почвы; уровень грунтовых вод, находящийся на глубине от 4 до 10 м и более. В ходе исследований применялся метод пробных площадей. Пробные площади (в количестве 57 шт.) закладывались в искусственных сосняках типа леса сухой бор пологих всхолмлений. Исследуемые древостои имели возраст от 13 до 81 года, класс бонитета II–V и разные схемы смешения пород. Рубки ухода в рассматриваемых насаждениях не проводились. Приведены таксационная харак-теристика наиболее типичных исследованных сосняков и графики хода роста по запасу искусственных сосняков, имеющих различное размещение деревьев на площади. Аппроксимация данных была выполнена при помощи функции Теразаки, так как она показала наибольшее значение коэффициента детерминации по сравнению с другими S-образными функциями. В ходе исследований установлено, что в ленточных борах Алтайского края из лесных культур с равномерным размещением семян на площади формируются наиболее производительные искусственные сосняки. Если сравнить производительность древостоев, сформировавшихся из лесных культур сосны, созданных кулисным способом в смешении с ивой остролистной, и производительность древостоев, образованных из лесных культур с аналогичным размещением деревьев на площади, но без ивы, то можно сделать вывод, что первые формируются в более производительные древостои.

Ключевые слова: древостой, запас древостоя, ход роста по запасу, искусственные сосняки, сосна обыкновенная, ива остролистная, производительность, ленточные боры, кулисные лесные культуры, чистые лесные культуры.

Введение

В юго-западной части Барнаульского ленточного бора наряду с созданием чистых сосновых лесных культур широко использовался кулисный способ, предусматривающий смешение сосны с ивой остролистной (шелюгой). В последнем случае один или несколько рядов сосны чередуются с несколькими рядами ивы, посаженной предварительно или одновременно с сосной.

Для цитирования: Осипенко А.Е., Залесов С.В. Производительность искусственных сосняков в ленточных борах Алтайского края // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 33–39. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.33

Схемы смешения сосны обыкновенной и ивы остролистной в ленточных борах Алтайского края применялись с 30-х по 90-е гг. XX в. За 60-летний период шелюга на практике доказала свою эффективность в закреплении песков и защите сеянцев сосны от негативных воздействий окружающей среды. По мнению многих авторов [4, 5], кулисный способ смешения пород в жестких климатических условиях является лучшим, так как обеспечивает высокую приживаемость и сохранность лесных культур сосны.

Благодаря тому, что разложение опада в условиях сухой и засушливой степи происходит медленно [11], сегодня еще можно определить, какие искусственные сосняки создавались с предварительным шелюгованием. Поэтому целесообразно оценить производительность имеющихся искусственных сосняков, созданных кулисным способом смешения, используя в качестве контроля искусственные сосняки, созданные без смешения с шелугой.

Объекты и методы исследования

Исследования проводились в Барнаульском ленточном бору на территории Рубцовского и Угловского административных районов Алтайского края с 2013 по 2016 г. Район исследований относится к Западно-Сибирскому подтаежно-лесостепному району лесостепной зоны [7]. Климат района резко континентальный с продолжительной холодной зимой и коротким жарким летом. Среднегодовая температура воздуха 1,6...2,1 °С с абсолютным максимумом в июле (40,7 °С) и абсолютным минимумом в декабре (–48,7 °С). Низкие температуры зимой и высокие летом обусловлены преобладанием малооблачной антициклональной погоды. Годовая сумма осадков составляет 250...350 мм, относительная влажность воздуха на протяжении большей части бесснежного периода – 40...45 %, продолжительность периода с температурой выше 10 °С – 137 дн., глубина снежного покрова – 15...43 см. Почвы в районе исследований песчаные дерново-слабо- и среднеподзолистые. Уровень грунтовых вод находится на глубине от 4 до 10 м и более [1].

В ходе исследований применялся метод пробных площадей (ПП). Они в количестве 57 шт. закладывались в искусственных сосняках типа леса сухой бор пологих всхолмлений в соответствии с известными методиками [2, 3, 10]. Размер ПП устанавливался с таким расчетом, чтобы на каждой из них было не менее 200 деревьев основного элемента древостоя. На всех ПП выполнялся сплошной пересчет деревьев. Отдельно учитывались ветровальные, буреломные и сухостойные деревья. Для определения средней высоты древостоя с помощью высотомера замерялась высота у 25 деревьев различного диаметра пропорционально распределению деревьев по ступеням толщины.

Обработка данных производилась в программах STATISTICA-7 и Microsoft Excel. Выравнивание значений запасов древостоев осуществлялось с помощью формулы Теразаки:

$$M_{\text{общ}} = a \cdot e^{\frac{-b}{A}},$$

где $M_{\text{общ}}$ – общий запас древостоя, м³/га;

a, b – коэффициенты уравнения;

A – возраст, лет.

Функция для аппроксимации значений запасов древостоев выбиралась по наибольшему значению коэффициента детерминации (R^2). Она применялась для выравнивания средних таксационных показателей древостоев в связи с возрастом. Особенно хорошо она подходила для выравнивания хода роста деревьев по объему [6].

Таблица 1

Таксационные показатели наиболее типичных искусственных сосняков (состав 10С)

№ ПП	Возраст, лет	Средние		диаметр, см	Густота, шт./га	фактическая	Полнота		Запас, м ³ /га		Класс бонитета
		высота, м	посадки				абсолютная, м ³ /га	относительная	растущих деревьев	сухостоя и валежа	
1	13	2,4 ± 0,3	6,0	2,5 ± 0,1	5003	2,4	0,5	7,1	0,0	7,1	III
2	32	9,1 ± 0,7	8,8	8,3 ± 0,3	2951	15,8	0,7	88,8	1,0	89,8	III
3	38	10,7 ± 0,6	6,6	9,6 ± 0,2	2827	20,5	0,8	113,2	17,7	130,9	III
4	47	13,2 ± 0,5	7,3	12,1 ± 0,3	2393	27,7	1,0	184,4	6,3	190,7	III
5	64	12,3 ± 0,6	7,7	16,8 ± 0,3	2260	27,0	1,0	177,1	15,4	192,5	IV
6	22	6,8 ± 0,3	4,6	5,6 ± 0,1	3440	8,4	0,4	36,2	2,5	38,7	II
7	45	10,1 ± 0,7	7,2	11,4 ± 0,4	1783	18,0	0,8	102,7	0,9	103,6	IV
8	51	11,2 ± 0,7	8,4	10,6 ± 0,3	2466	21,6	0,9	132,6	2,3	134,9	IV
9	70	11,2 ± 0,4	5,0	14,5 ± 0,3	1501	24,6	1,0	147,7	3,3	151,0	V
10	81	13,2 ± 0,4	7,3	14,0 ± 0,4	1842	28,2	1,1	187,4	3,7	191,1	V
11	18	3,1 ± 0,3	5,7	2,9 ± 0,1	4630	3,1	0,5	9,8	0,0	9,8	IV
12	45	7,8 ± 0,6	4,4	9,1 ± 0,3	2418	15,7	0,8	74,9	0,9	75,8	IV
13	59	8,4 ± 0,6	9,0	8,6 ± 0,3	2954	17,3	0,8	87,1	0,5	87,6	V
14	77	12,0 ± 0,6	5,0	12,8 ± 0,4	2103	27,2	1,1	169,2	4,1	173,3	V

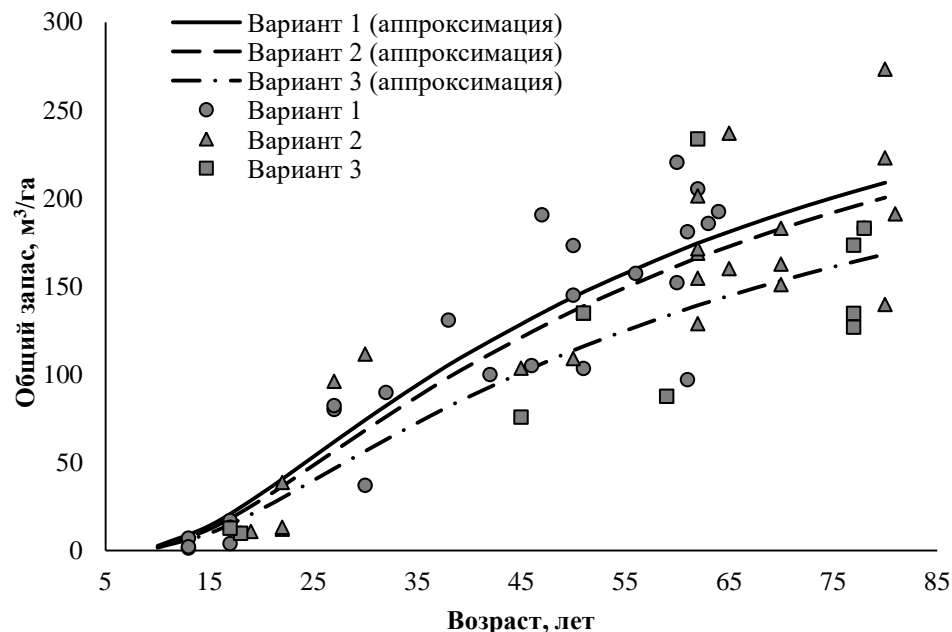
Исследуемые древостои, имеющие возраст от 13 до 81 года, характеризовались II–V классами бонитета. Они создавались посадкой двухлетних сеянцев при различных способах смешения пород: вариант 1 – чистые сосновые культуры с равномерным размещением по площади; вариант 2 – культуры сосны, смешанные с ивой остролистной (кулисный способ размещения); вариант 3 – чистые сосновые культуры с технологическими коридорами. В связи с жесткими [9] климатическими условиями через 20–25 лет после посадки ива остролистная отмирает, а сосняки развиваются чистыми по составу. В рассматриваемых насаждениях рубки ухода не проводились.

Результаты исследования и их обсуждение

Таксационная характеристика наиболее типичных исследованных сосняков приведена в табл. 1.

Распределение запасов древостоев (см. рисунок) свидетельствует о том, что способ смешения пород влияет на основные таксационные показатели искусственных древостоев [8].

Так, древостои сосны, созданные чистыми по составу с равномерным распределением по площади, характеризуются большей производительностью, а искусственные сосняки, созданные кулисным способом смешения сосны и ивы остролистной, – меньшей (на 4,0 % в возрасте 80 лет).



Ход роста по запасу искусственных сосняков при различных вариантах смешения пород

Наименее производительными (80,6 % от производительности варианта 1 в возрасте 80 лет) являются сосняки, созданные с технологическими коридорами без ивы. Последнее, вероятно, объясняется тем, что кулисные культуры (вариант 2) хотя и неравномерно распределены по площади, как и культуры варианта 3, однако, находясь под защитой шелюги, имеют преимущество в росте и развитии [1].

Уравнения кривых (см. рисунок), описывающих ход роста по запасу искусственных сосняков, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Математические характеристики кривых хода роста по запасу искусственных сосняков

Вариант смешения пород	Уравнение зависимости запаса древостоя от возраста	Коэффициент детерминации
1	$M_{\text{общ}} = 388,295 \cdot e^{\frac{-49,6}{A}}$	0,923
2	$M_{\text{общ}} = 382,038 \cdot e^{\frac{-51,6}{A}}$	0,884
3	$M_{\text{общ}} = 323,569 \cdot e^{\frac{-52,398}{A}}$	0,828

Найденные уравнения имеют коэффициенты детерминации более 0,8, что свидетельствует о соответствии полученных функций данным эксперимента.

При аппроксимации полученных экспериментальных данных была предпринята попытка описать зависимость запаса древостоев от возраста и при помощи других уравнений (Хосвельда, Никитина, Странда, Хугерсхофа, Корфа [6]), однако функция Теразаки $Y = ae^{-b/X}$ показала наибольшее значение коэффициента детерминации.

Несмотря на довольно значительное снижение производительности древостоев, вызванное неравномерным распределением деревьев на площади, технологические коридоры в лесных культурах значительно облегчают механизацию работ по агротехническим и лесоводственным уходам, а в перспективе и лесосечных работ.

Выводы

1. Наиболее производительные искусственные сосняки в ленточных борах Алтайского края формируются из лесных культур с равномерным размещением семян на площади.

2. В рассматриваемых условиях лесные культуры сосны, созданные кулисным способом в смешении с ивой остролистной, развиваются в более производительные древостои по сравнению с древостоями, образованными из лесных культур с аналогичным размещением деревьев на площади, без ивы.

3. Ход роста по запасу для изученных искусственных сосняков лучше всего описывается функцией Теразаки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бугаев В.А., Косарев Н.Г. Лесное хозяйство ленточных боров Алтайского края. Барнаул: Алт. кн. изд-во, 1988. 312 с.
2. Бунькова Н.П., Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. 89 с.
3. Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 152 с.
4. Данченко А.М., Кабанова С.А., Данченко М.А., Мясников А.Г. Перспективы создания смешанных лесных культур (на примере Северного Казахстана) // Фундаментальные исследования. 2014. № 6. С. 87–91.
5. Залесов С.В., Азбаев Б.О., Данчева А.В., Рахимжанов А.Н., Ражанов М.Р., Суюндиков Ж.О. Искусственное лесоразведение вокруг г. Астаны // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 4. Режим доступа: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=13438> (дата обращения: 10.08.2017).
6. Кузмичев В.В. Закономерности роста древостоев. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 160 с.
7. Приказ Минприроды России «Об утверждении Перечня лесорастительных зон Российской Федерации и Перечня лесных районов Российской Федерации» № 367 от 18.08.2014 (ред. от 21.03.2016). М., 2014. 21 с.
8. Kint V., Lust N., Ferris R., Olsthoorn A.F.M. Quantification of Forest Stand Structure Applied to Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Forests // Forest Systems. 2000. Vol. 9, no. S1. Pp. 147–163.
9. Ozolinčius R., Stakenas V., Varnagirytė-Kabasinskiene I., Buozyte R. Artificial Drought in Scots Pine Stands: Effects on Soil, Ground Vegetation and Tree Condition // Annales Botanici Fennici. 2009. Vol. 46, no. 4. Pp. 299–307.
10. Rio M., Montero G., Bravo F. Analysis of Diameter-Density Relationships and Self-Thinning in Non-Thinned Even-Aged Scots Pine Stands // Forest Ecology and Management. 2001. Vol. 142, no. 1-3. Pp. 79–87.
11. Zhu J.J., Fan Z.P., Zeng D.H., Jiang F.Q., Matsuzaki T. Comparison of Stand Structure and Growth between Artificial and Natural Forests of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* on Sandy Land // Journal of Forestry Research. 2003. Vol. 14, iss. 2. Pp. 103–111.

Поступила 15.09.17

UDC 630*524.34:674.032.475.4

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.33

Productivity of Artificial Pine Stands in Ribbon Forests of the Altai Territory

A.E. Osipenko, Postgraduate Student

S.V. Zalesov, Doctor of Agricultural Sciences, Professor

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: osipenko_alexey@mail.ru, Zalesov@usfeu.ru

Pure and strip pine forest plantations were widely practiced in ribbon forests of the Altai Territory by the species mixture of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) with silver willow (*Salix acutifolia* Willd.). In the 1990s this approach was cancelled. We can assess the productivity of those plantations so far it is still possible to determine which artificial pine forests were created with preliminary willow planting. The paper presents the studies carried out in the Barnaul ribbon forest in the Rubtsovskiy and Uglovskiy districts of the Altai Territory from 2013 to 2016. Forest growth conditions are described by a sharply continental climate, lengthy cold winters and short hot summers; small (250...350 mm/year) amount of precipitation; sandy soils and the level of groundwater, located at a depth of 4 to 10 m and more. In the course of the research, the authors have used the quadrant sampling method. The sample plots (57 pcs.) are established in artificial pine forests of the forest type of dry coniferous forest of flat hilly surfaces. The investigated stands are from 13 to 81 years of age, of II–V quality class and different species mixture patterns. Thinning in these stands has not been carried out. The mensurational description of the most typical studied pine forests and yield charts of artificial pine forests with different tree arrangement on the area are also presented. Data approximation is performed using the Terazaki function, since it demonstrates the highest value of the determination coefficient in comparison with the other S-shaped functions. The most productive artificial pine forests are formed from forest cultures with a uniform arrangement of seedlings in the ribbon forests of the Altai Territory. Pine stands created by the strip forest plantation method in the mixture with silver willow (*Salix acutifolia*) are more productive than stands formed from forest cultures with a similar arrangement of trees on the area but without willow.

Keywords: forest stand, growing stock, yield, artificial pine stand, Scots pine, silver willow (*Salix acutifolia*), productivity, ribbon forest, strip forest plantation, pure forest plantation.

REFERENCES

1. Bugaev V.A., Kosarev N.G. *Lesnoe khozyaystvo lentochnykh borov Altayskogo kraya* [Forestry of Ribbon Forests of the Altai Territory]. Barnaul, Altayskoe knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1988. 312 p. (In Russ.)
2. Bun'kova N.P., Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G. *Osnovy fitomonitoringa* [Fundamentals of Phytomonitoring]. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2011. 89 p. (In Russ.)
3. Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy rekreatsionnogo naznacheniya* [Ecological Monitoring of Forest Plantations for Recreational Purposes]. Yekaterinburg, USFEU Publ., 2015. 152 p. (In Russ.)

For citation: Osipenko A.E., Zalesov S.V. Productivity of Artificial Pine Stands in Ribbon Forests of the Altai Territory. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 33–39. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.33

4. Danchenko A.M., Kabanova S.A., Danchenko M.A., Myasnikov A.G. Perspektivy sozdaniya smeshannykh lesnykh kul'tur (na primere Severnogo Kazakhstana) [Prospects of the Establishment of Mixed Forest Cultures (from Northern Kazakhstan)]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2014, no. 6-1, pp. 87–91.

5. Zalesov S.V., Azbaev B.O., Dancheva A.V., Rakhimzhanov A.N., Razhanov M.R., Suyundikov Zh.O. Iskusstvennoe lesorazvedenie vokrug g. Astany [Artificial Forestation around the City of Astana]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education], 2014, no. 4. Available at: [www. https://science-education.ru/en/article/view?id=13438](http://www.science-education.ru/en/article/view?id=13438) (accessed 10.08.2017).

6. Kuzmichev V.V. *Zakonomernosti rosta drevostoev* [Regularities of Forest Stand Growth]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1977. 160 p. (In Russ.)

7. Prikaz Minprirody Rossii «Ob utverzhdenii Perechnya lesorastitel'nykh zon Rossiyskoy Federatsii i Perechnya lesnykh rayonov Rossiyskoy Federatsii» № 367 ot 18.08.2014 (red. ot 21.03.2016) [The Order no. 367 of August 18, 2014 of the Ministry of Natural Resources of Russia “On the Approval of the List of Forest Zones of the Russian Federation and the List of Forest Regions of the Russian Federation” (as amended on March 21, 2016)]. Moscow, 2014. 21 p.

8. Ozolincius R., Stakenas V., Varnagiryte-Kabasinskiene I., Buozyte R. Artificial Drought in Scots Pine Stands: Effects on Soil, Ground Vegetation and Tree Condition. *Annales Botanici Fennici*, 2009, vol. 46, no. 4, pp. 299–307.

9. Río M., Montero G., Bravo F. Analysis of Diameter-Density Relationships and Self-Thinning in Non-Thinned Even-Aged Scots Pine Stands. *Forest Ecology and Management*, 2001, vol. 142, no. 1-3, pp. 79–87.

10. Kint V., Lust N., Ferris R., Olsthoorn A.F.M. Quantification of Forest Stand Structure Applied to Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Forests. *Forest Systems*, 2000, vol. 9, no. S1, pp. 147–163.

11. Zhu J.J., Fan Z.P., Zeng D.H., Jiang F.Q., Matsuzaki T. Comparison of Stand Structure and Growth between Artificial and Natural Forests of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* on Sandy Land. *Journal of Forestry Research*, 2003, vol. 14, iss. 2, pp. 103–111.

Received on September 15, 2017

УДК 630*2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.40

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ЗАПАСА И ТОВАРНОЙ СТРУКТУРЫ МОДАЛЬНЫХ ХВОЙНЫХ ДРЕВОСТОЕВ СОСНЫ И ЕЛИ К ВОЗРАСТУ СПЕЛОГО НАСАЖДЕНИЯ

Д.А. Данилов, канд. с.-х. наук, доц.

Н.В. Беляева, д-р с.-х. наук, проф.

А.В. Грязькин, д-р биол. наук, проф.

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия, 194021; e-mail: stown200@mail.ru, galbel06@mail.ru, lesovod@bk.ru

В статье приведены результаты исследования товарной структуры и запаса древостоев в разных лесорастительных условиях. Использованы стационарные объекты при различных вариантах опытов со сроком наблюдений 50–85 лет, заложенные в разные годы сотрудниками Ленинградского научно-исследовательского института лесного хозяйства и кафедры лесоводства Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, а также временные пробные площади и производственные объекты, расположенные в Гатчинском лесничестве Ленинградской области. При закладке и таксации пробных площадей и расчете таксационных показателей древостоев, наряду с требованиями стандартов, руководствовались общепринятыми положениями и действующими нормативно-справочными материалами. При определении типов леса использовали лесо-типологическую схему, применяющуюся в лесоустройстве и основанную на эда-фитоценотической классификации В.Н. Сукачева. Проведенный дисперсионный анализ показал, что влияние состава смешанных древостоев на запас в чернично-долгомошной и чернично-зеленомошной сериях типов леса составляет более половины от общей суммы всех факторов (54 %). В зеленомошной группе типов леса на этот фактор приходится 40 % от суммы всех воздействий. В осушенных типах леса влияние состава древостоя на запас минимальное, так как большее воздействие оказывает изменившийся почвенно-гидрологический режим. Данные по товарной структуре и запасу смешанных древостоев сосны и ели в долгомошной и сфагновой сериях типов леса показали, что к возрасту спелого насаждения происходит увеличение запаса в связи с улучшением лесорастительных условий. В сосняке сфагновом осушенном выход крупной и средней категории древесины фактически одинаковый при разной доле участия сосны и ели, в сосняке долгомошном осушенном этот показатель выше, запас древесины больше. В процессе формирования смешанных елово-сосновых насаждений необходимо увеличивать долю сосны на более ранних этапах развития древостоев, чтобы к возрасту главной рубки с единицы площади получать больший объем древесины с более крупными стволами. В черничном осушенном типе леса при большей доле участия сосны выход крупной и средней древесины выше, чем при преобладании ели в данном типе леса. Сосна при улучшении условий своим приростом более активно реагирует на осушение, чем ель в более крупных деревьях.

Ключевые слова: смешанные древостои сосны и ели, состав древостоя, типы леса, товарная структура.

Для цитирования: Данилов Д.А., Беляева Н.В., Грязькин А.В. Особенности формирования запаса и товарной структуры модальных хвойных древостоев сосны и ели к возрасту спелого насаждения // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 40–48. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.40

Введение

Исследование закономерностей изменения таксационных показателей элементов леса на разных возрастных этапах роста смешанных древостоев позволяет сделать вывод о сложившейся естественным путем (т. е. без хозяйственного вмешательства) структуре хвойного древостоя к возрасту рубки спелого насаждения. Существенным фактором, влияющим на продуктивность смешанных древостоев сосны и ели, является их состав. Достоверное заключение об оптимальном составе, в том числе и о товарной структуре древостоя, с лесохозяйственной позиции можно делать только по результатам длительных наблюдений на постоянных пробных площадях [2, 13]. Рассматривая естественный ряд развития смешанных древостоев сосны и ели, можно смоделировать общую закономерность для каждого элемента леса [2–4, 11].

Рост и формирование смешанных древостоев обусловлены непрерывным изменением их количественных и качественных признаков, т. е. определенными закономерностями, которые можно выразить статистическо-математическими, графическими или табличными методами.

Цель наших исследований, проведенных в древостоях с разной долей участия сосны и ели на опытных объектах зеленомошной серии типов леса, – обобщение результатов многолетних наблюдений и анализ закономерностей влияния состава древостоя на показатели строения смешанных хвойных насаждений.

Объекты и методы исследования

Для экспериментов были выбраны стационарные объекты со сроком наблюдений 50–85 лет и различными вариантами опытов, заложенные в разные годы сотрудниками ЛенНИИЛХ и кафедры лесоводства СПбГЛТА, а также временные пробные площади и производственные объекты, расположенные в Гатчинском лесничестве Ленинградской области [2, 5, 12, 14]. При закладке и таксации пробных площадей и расчете таксационных показателей древостоев, наряду с требованиями стандартов (ГОСТ 16483.6–80, ОСТ 56-69–83), руководствовались общепринятыми положениями, изложенными Н.П. Анучиным [1], С.Н. Сенновым [12], и действующими нормативно-справочными материалами [6, 7, 10, 11, 14].

При определении типов леса пользовались лесотипологической схемой, применяющейся в лесоустройстве и основанной на эдафифитоценотической классификации В.Н. Сукачева [13].

Результаты исследования и их обсуждение

В зависимости от доли участия породы в составе насаждения товарная структура и запас выращиваемой стволовой древесины имеют различные показатели. В исследуемых типах леса к возрасту сплошной рубки складывается определенная товарная структура древостоя с различным выходом сортиментов по категориям крупности [2–5, 8, 9, 15–17]. Запас древостоя в таких смешанных насаждениях сосны и ели также значительно варьирует в зависимости от условий произрастания и состава насаждения. Поэтому важно знать, в каких лесотипологических условиях состав древостоя к возрасту сплошной рубки должен быть оптимальным по параметрам запаса и товарной структуры. На динамику запасов за период опыта оказывает влияние доля участия ели или сосны в составе древостоя.

Нами были исследованы смешанные хвойные насаждения, расположенные на постоянных пробных площадях (ПП) в Гатчинском лесничестве Ленинградской области (Орлинское участковое лесничество) [14]. Проведенный дисперсионный анализ показал, что влияние состава смешанных древостоев на запас в чернично-долгомошной и чернично-зеленомошной сериях типов леса составляет более половины от общей суммы всех факторов ($\eta = 54\%$). В зеленомошной группе типов леса на этот фактор приходится 40% от суммы всех воздействий (табл. 1).

Таблица 1

Дисперсионный анализ влияния состава древостоя на запас к возрасту спелого насаждения (85–100 лет) в смешанных хвойных древостоях (ель и сосна)

Дисперсия	Сумма квадратов	Степень свободы	Средний квадрат	Критерий Фишера		Вероятность принятия нулевой гипотезы
				фактический	теоретический*	
<i>Чернично-долгомошная и чернично-зеленомошная серии типов леса</i>						
Общая	644353,2	61	–	–	–	–
Вариантов	295910,1	16	18494,38	2,4	$\frac{2,4}{1,9}$	0,0112
Остаточная	348443,1	45	7743,18	–	–	–
<i>Зеленомошная группа типов леса</i>						
Общая	309714,9	41	–	–	–	–
Вариантов	182988,1	16	11436,76	2,26	$\frac{2,81}{2,07}$	0,0331
Остаточная	126726,8	25	5069,072	–	–	–

*В числителе приведены данные при $p = 1\%$, в знаменателе – при $p = 5\%$.

В осушенных типах леса влияние состава древостоя на запас минимальное, так как там большее влияние оказывает изменившийся почвенно-гидрологический режим.

Анализ полученных результатов по товарной структуре и запасу смешанных древостоев сосны и ели в долгомошной и сфагновой сериях типов леса показывает, что к возрасту спелого насаждения происходит увеличение запаса в связи с улучшением лесорастительных условий. Однако при этом проявляются некоторые особенности. Если в сосняке сфагновом осушенном выход крупной и средней категории древесины фактически одинаковый при разной доле участия сосны и ели, то в сосняке долгомошном осушенном выход крупной и средней древесины, а также ее запас выше. При большей доле ели в составе эти показатели ниже.

Заметную роль здесь играет доля участия лиственных пород в составе насаждения. При увеличении доли лиственных пород запас крупной и средней древесины хвойных пород уменьшается. Характеристика товарной структуры смешанных хвойных древостоев разных условий произрастания, приведенная в табл. 2, позволяет сделать вывод, что в менее производительном типе леса после осушения запас древостоя выше при преобладании сосны в его составе. При этом товарная структура по категориям крупности фактически равнозначна при преобладании сосны или ели в составе древостоя. В долгомошном осушенном типе леса с улучшением трофности и режима увлажнения места произрастания запас и товарная структура значительно выше в древостоях с преобладанием сосны.

Окончание табл. 2

Порода	Выход ликвидной древесины на 1 га						
	крупной	средней	мелкой	дров	ликвидной	отходов	всего
<i>ПП 44 – ельник кисличник (состав, %: 53Е 24С 23Б)</i>							
Сосна	<u>35,00</u>	<u>10,00</u>	<u>2,00</u>	1,0	<u>48,00</u>	<u>4,00</u>	<u>52,00</u>
	16,0	5,0	1,0		22,0	2,0	24,0
Ель	<u>43,00</u>	<u>44,00</u>	<u>20,00</u>	<u>2,0</u>	<u>106,00</u>	<u>9,00</u>	<u>115,00</u>
	19,0	20,0	9,0	1,0	49,0	4,0	53,0
Всего по хвойным породам							<u>167,00</u>
							77,0
Береза	<u>16,00</u>	<u>25,00</u>	<u>7,00</u>	<u>4,00</u>	<u>52,00</u>	<u>4,00</u>	<u>56,00</u>
	7,0	11,0	3,0	2,0	21,0	2,0	23,0
Всего по лиственным породам							<u>56,00</u>
							23,0
<i>Итого</i>							223,00

В черничном осушенном типе леса при большей доле участия сосны выход крупной и средней древесины выше. Например, на секции (состав древостоя 30Е 16С 54Б+Ос) выход крупной и средней древесины ниже, чем на секциях с преобладанием сосны.

При преобладании в составе сосны и запас, и показатели товарной структуры выше, чем при преобладании ели в данном типе леса. Сосна проростом в более крупных деревьях активнее отреагировала на улучшение условий (осушение), чем ель.

В лиственно-хвойном насаждении (состав 50Б 36С 14Ос) в товарной структуре соснового яруса преобладает средняя по крупности древесина. Необходимо отметить, что и у доминирующего березового яруса аналогичная товарная структура.

Вероятно, сложившиеся конкурентные ценотические отношения между породами привели именно к таким показателям структуры древостоя. В настоящее время в нем формируется еловый ярус под пологом спелого древостоя.

В ельнике кисличнике (состав 53Е 24С 23Б) после интенсивной проходной рубки (в основном изрежен сосновый ярус) общий запас снизился по сравнению с насаждениями, не пройденными рубками. При этом выход крупной и средней древесины в изреженном древостое выше, чем в насаждениях, не пройденных рубками. Следовательно, отбор деревьев проходил в основном из мелких ступеней толщины.

Выводы

1. В смешанных хвойных древостоях состав насаждения с улучшением условий произрастания оказывает значимое влияние на показатели запаса древесины и товарную структуру.

2. В процессе формирования смешанных елово-сосновых насаждений необходимо увеличивать долю сосны на более ранних этапах развития древостоев, чтобы к возрасту главной рубки получить на единице площади больший объем древесины с более крупными стволами.

3. Формирование смешанных хвойных насаждений (состав 7С 3Е – 8С 2Е) с примесью березы в зеленомошной серии типов леса позволит получить оптимальный ликвидный запас к возрасту сплошной рубки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Анучин Н.П.* Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
2. *Беляева Н.В., Данилов Д.А.* Закономерности функционирования сосновых и еловых фитоценозов на объектах рубок ухода и комплексного ухода за лесом: моногр. СПб.: С.-Петербург. политехн. ун-т, 2014. 164 с.
3. *Гусев И.И., Третьяков С.В.* Закономерности роста и продуктивность средне-таежных сосново-еловых древостоев // Лесоводство, лесоведение, лесные пользования: обзор. информ. М.: ВНИИЦлесресурс, 1992. Вып. 2. 28 с.
4. *Захаров А.Ю.* Влияние рубок ухода на рост сосны и ели в смешанных сосняках // Сб. тр. по итогам науч.-исслед. работ ФГУ СЕВНИИЛХ за 2005–2009 гг. Архангельск, 2011. С. 50–55.
5. *Кранкина О.Н., Сеннов С.Н.* Программы рубок ухода в сосново-еловых древостоях южной тайги: метод. рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1985. 24 с.
6. Лесохозяйственные регламенты Ленинградской области // Сайт Комитета по природным ресурсам Ленинградской области. Режим доступа: <http://www.nature.lenobl.ru> (дата обращения: 28.08.2017).
7. *Мошкалев А.Г., Давыдов Г.М., Яновский Л.Н.* Лесотаксационный справочник по Северо-Западу СССР. Л.: ЛТА, 1984. 319 с.
8. *Неволин О.А., Третьяков С.В., Еремина О.О.* Биологическое и хозяйственное значение сопутствующих пород в сосняках Европейского Севера России // Лесн. журн. 2003. № 1. С. 7–15. (Изв. высш. учеб. заведений).
9. *Неволин О.А., Третьяков С.В., Еремина О.О.* Продуктивность смешанных сосняков Европейского Севера и организация хозяйства в них // Лесн. журн. 2004. № 3. С. 26–36. (Изв. высш. учеб. заведений).
10. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Методы закладки. М.: Изд-во стандартов, 1984. 60 с.
11. *Романюк Б.Д., Кудряшова А.А.* Новые региональные нормативы для интенсивной и устойчивой модели ведения лесного хозяйства (На примере Тихвинского района Ленинградской области) // Проект «Развитие нормативной базы устойчивого лесопользования на региональном уровне (Ленинградская область)» / СПбНИИЛХ. Финляндия: НИИ леса Йёнсуу, 2009. 80 с.
12. *Сеннов С.Н.* Уход за лесом (экологические основы). М.; Л.: Наука, 1984. 128 с.
13. *Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.
14. *Филиппов Г.В., Пирогов Н.А.* Ход роста древостоев, не затронутых хозяйственным воздействием // Сб. тр. СПбНИИЛХ. СПб., 2001. Вып. 1(5). 32 с.
15. *Чибисов Г.А.* Смена сосны елью. Архангельск: СевНИИЛХ, 2010. 150 с.
16. *Gromtsev A.N.* Pyrogenic Successions of Forest Communities in Taiga Landscapes of Eastern Fennoscandia // The Natural Regeneration of Forest in Finland and Russian Karelia. Muhos: Forest Research Institute, 1995. Pp. 58–63.
17. *Pretzsch H., Schütze G.* Effect of Tree Species Mixing on the Size Structure, Density, and Yield of Forest Stands // European Journal of Forest Research. January 2016. Vol. 135, iss. 1. Pp. 1–22.

UDC 630*2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.40

Features of Yield and Commodity Composition of Pine and Spruce Modal Coniferous Stands for the Age of Mature Stands*D.A. Danilov, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor**N.V. Belyaeva, Doctor of Agricultural Sciences, Professor**A.V. Gryaz'kin, Doctor of Biological Sciences, Professor*

Saint Petersburg State Forest Technical University under name of S.M. Kirov,

Institutskiy per., 5, Saint Petersburg, 194021, Russian Federation;

e-mail: stown200@mail.ru, galbel06@mail.ru, lesovod@bk.ru

The paper presents the research results of commodity composition and yield of stands in different forest conditions stationary objects of Various variants of experiments with an observation period of 50–85 years are used. The scientists of the Leningrad Forestry Research Institute and the Forestry Department of the Saint Petersburg State Forest Technical University established them in different years. Temporary sample plots and production facilities in the Gatchina Forestry of the Leningrad Region were also studied. The authors followed standard concepts, current normative reference materials and regulatory requirements when establishing and estimating by circular sample plots and calculating the survivor growth of forest stands. In determining the forest types, a forest typological scheme applied in forest management and based on the edapho-phytocoenotic classification of V.N. Sukachev was used. The analysis of variance showed that the influence of the composition of mixed stands on the yield in the long moss myrtillus and green moss myrtillus forest types was more than half of the total sum of all factors ($\eta = 54\%$). In the green moss group of forest types this factor accounted for 40 % of the total of all impacts. In drained forest types, the influence of the stand composition on the yield was minimal, since the changed soil and hydrological regime was more effective. Data on the commodity composition and yield of pine and spruce mixed stands in the long moss and sphagnum series of forest types demonstrated the yield increase by the age of mature stand due to the improvement of forest growing conditions. In the sphagnum drained pine forest, the yield of large and medium-sized timber was the same with a different share of pine and spruce. This indicator was higher in a long moss drained pine forest; the yield was larger. In the process of formation of mixed spruce and pine plantations, we should increase the share of pine in the earlier stages of stand development. In this case, a larger wood volume with larger trunks can be produced from a unit of area by the age of the main felling. The yield of large and medium wood is higher in the myrtillus drained forest type with a significant share of pine, in comparison with spruce predominance. Pine under the improvement of conditions reacts more actively to draining by its growth than larger trees of spruce.

Keywords: mixed stand of pine and spruce, stand composition, forest type, commodity composition.

REFERENCES

1. Anuchin N.P. *Lesnayataksatsiya* [Forest Inventory]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 552p. (In Russ.)

2. Belyaeva N.V., Danilov D.A. *Zakonomernosti funktsionirovaniya sosnovykh i elovykh fitotsenozov naob"ektakh rubok ukhoda i kompleksnogo ukhoda za lesom* [Regularities of Functioning of Pine and Spruce Phytocoenoses on the Sites of Thinning and Complex Forest Tending]. Saint Petersburg, SPbPU Publ., 2014. 164p. (In Russ.)

For citation: Danilov D.A., Belyaeva N.V., Gryaz'kin A.V. Features of Yield and Commodity Composition of Pine and Spruce Modal Coniferous Stands for the Age of Mature Stands. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 40–48. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.40

3. Gusev I.I., Tret'yakov S.V. Zakonomernosti rosta i produktivnost' srednetaezhnykh sosnovo-elovykh drevostoev [Regularities of Growth and Productivity of Pine and Spruce Stands in the Middle Taiga]. *Lesovodstvo, lesovedenie, lesnye pol'zovaniya* [Forest Management, Forest Science, Forest Use]. Moscow, RICFR Publ., 1992, no. 2. 28 p. (In Russ.)
4. Zakharov A.Yu. Vliyanie rubok ukhoda na rost sosny I eli v smeshannykh sosnyakh [The Effect of Thinning on the Pine and Spruce Growth in Mixed Pine Forests]. *Sbornik trudov po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot FGU SEVNILKh za 2005–2009 gg.* [Collection of Papers on the Basis of the Research Activity of the Northern Research Institute of Forestry for 2005–2009]. Arkhangelsk, 2011, pp. 50–55. (In Russ.)
5. Krankina O.N., Sennov S.N. *Programmy rubok ukhoda v sosnovo-elovykh drevostoyakh yuzhnoy taygi* [Programs of Thinning in Pine and Spruce Stands of the Southern Taiga]. Leningrad, LFRI Publ., 1985. 24 p. (In Russ.)
6. *Lesokhozyaystvennye reglamenti Leningradskoy oblasti: sayt Komiteta po prirodnym resursam Leningradskoy oblasti* [Forest Management Regulations of the Leningrad Region: Official Site of the Committee for Natural Resources of the Leningrad Region]. Available at: <http://www.nature.lenobl.ru> (accesses 28.08.2017).
7. Moshkalev A.G., Davydov G.M., Yanovskiy L.N. *Lesotaksatsionnyy spravochnik po Severo-Zapadu SSSR* [Forest Mensuration Handbook of the North-West of the USSR]. Leningrad, LTA Publ., 1984. 319 p. (In Russ.)
8. Nevolin O.A., Tret'yakov S.V., Eremina O.O. Biologicheskoe i khozyaystvennoe znachenie soputstvuyushchikh porod v sosnyakh Evropeyskogo Severa Rossii [Biological and Economic Value of Associated Species in Pine Stands of the European North of Russia]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2003, no. 1, pp. 7–15.
9. Nevolin O.A., Tret'yakov S.V., Eremina O.O. Produktivnost' smeshannykh sosnyakov Evropeyskogo Severa i organizatsiya khozyaystva v nikh [Productivity of Mixed Pine Forests in European North of Russia and Forest Management]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2004, no. 3, pp. 26–36.
10. *OST 56-69–83. Probnye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69–83. Forest Management Sampling Areas. Line-Intercept Method]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1984. 60 p.
11. Romanyuk B.D., Kudryashova A.A. Novye regional'nye normativy dlya intensivnoy i ustoychivoy modeli vedeniya lesnogo khozyaystva (na primere Tikhvinskogo rayona Leningradskoy oblasti) [New Regional Norms for an Intensive and Sustainable Forest Management Model (Based on the Example of the Tikhvinsky District of the Leningrad Region)]. *Proekt «Razvitie normativnoy bazy ustoychivogo lesopol'zovaniya na regional'nom urovne (Leningradskaya oblast')»*, SPbNILKh [Project “Development of the Normative Base of Sustainable Forest Management at the Regional Level (Leningrad Region)”, SPbFRI]. Finland, Joensuu Forest Research Institute Publ., 2009. 80 p. (In Russ.)
12. Sennov S.N. *Ukhod za lesom (ekologicheskie osnovy)* [Forest Tending (Ecological Basis)]. Moscow; Leningrad, Nauka Publ., 1984. 128 p. (In Russ.)
13. Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Recommended Practices for the Study of Forest Types]. Moscow, ASUSSR Publ., 1961. 144 p. (In Russ.)
14. Filippov G.V., Pirogov N.A. Khod rosta drevostoev, ne zatronutykh khozyaystvennym vozdeystviem [The Growth Course of Stands not Affected by the Economic Influence]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2001, no. 1(5). 32 p.
15. Chibisov G.A. *Smena sosny el'yu* [Change of Pine by Spruce]. Arkhangelsk, NRIF Publ., 2010. 150 p. (In Russ.)
16. Gromtsev A.N. Pyrogenic Succession of Forest Communities in Taiga Landscapes of Eastern Fennoscandia. *The Natural Regeneration of Forest in Finland and Russian Karelia*. Muhos, Finnish Forest Research Institute Publ., 1995, pp. 58–63.
17. Pretzsch H., Schütze G. Effect of Tree Species Mixing on the Size Structure, Density, and Yield of Forest Stands. *European Journal of Forest Research*, 2016, vol. 135, iss. 1, pp. 1–22.

Received on September 27, 2017

УДК 630*284.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.49

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СМОЛОПРОДУКТИВНОСТИ СОСНЫ
В РАЗНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ****Н.О. Пастухова, асп.**А.И. Горкин, канд. с.-х. наук**О.П. Лебедева, асп.*

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;
e-mail: hope203@yandex.ru

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) всегда была в центре внимания ученых и исследователей благодаря своей высокой смолопродуктивности. Способность выделять определенное количество живицы зависит в первую очередь от типа леса и условий произрастания древостоя. Для проведения сравнительного анализа смолопродуктивности сосны в разных лесорастительных условиях были заложены пробные площади в средневозрастных сосновых насаждениях II–IV классов бонитета черничного свежего, кустарничково-сфагнового осушаемого и заболоченного условий произрастания. В ходе исследований смолопродуктивность сосны определяли по длине потека живицы методом четырех ранений по сторонам света, что позволило за максимально короткий промежуток времени получить надежные результаты. Для каждого дерева устанавливали категорию смолопродуктивной способности. Влияние условий произрастания на смолопродуктивность определяли путем дисперсионного анализа и по процентному соотношению деревьев сосны в разных условиях произрастания. Установлено, что при наличии благоприятных условий для роста и развития древостоя, отводе поверхностных и снижении уровня грунтовых вод повышаются смолопродуктивность сосны и доля пригодных к подсочке деревьев. Гидромелиорация позволяет увеличить число средне- и высокосмолопродуктивных сосен в 3 раза. Оптимальные условия для добычи живицы были обеспечены только в сосняке черничном. Дисперсионный анализ достоверно подтверждает влияние условий произрастания на смолопродуктивность сосны обыкновенной.

Ключевые слова: живица, смолопродуктивность, длина потека живицы, категория смолопродуктивности сосны, экспресс-метод.

Введение

Под термином «смолопродуктивность» в практике лесного хозяйства понимается биологическая способность хвойной породы в сравнимых условиях за единицу времени выделять определенную массу живицы (ОСТ 13-80–79). Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), обладающая наибольшей смолопродуктивной способностью по сравнению с другими хвойными породами, вызывает большой интерес ученых и исследователей при изучении этого вопроса с различных точек зрения. Способность выделять живицу большей степени зависит от целого ряда лесоводственных и экологических факторов, которые определяются типом леса и условиями произрастания древостоя [1, 2, 11, 16, 17, 18].

* Исследование выполнено при финансовой поддержке РГНФ и правительства Архангельской области по программе «Русский Север: история, современность, перспективы» в рамках научного проекта № 16-12-29003 «Экономическое обоснование восстановления заготовки живицы в объемах промышленной подсочки в контексте обеспечения устойчивого развития лесов Архангельской области».

Для цитирования: Пастухова Н.О., Горкин А.И., Лебедева О.П. Сравнительный анализ смолопродуктивности сосны в разных лесорастительных условиях // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 49–57. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.49

Согласно литературным источникам наиболее смолопродуктивными являются боры кисличники и брусничники, затем черничники и беломошники [5].

Цель исследования – проведение сравнительного анализа смолопродуктивности сосны в различных лесорастительных условиях с применением экспресс-метода.

Объекты и методы исследования

В целях проведения сравнительного анализа смолопродуктивности сосны нами заложены пробные площади (ПП) в трех типах леса на территории Архангельского лесничества Архангельской области: в Исакогорском участковом лесничестве (20-й квартал) – сосняк кустарниково-сфагновый (ПП 1); в сосновом древостое черничного свежего типа леса (28-й квартал) (ПП 3); в Усть-Двинском участковом лесничестве (108-й квартал) – осушаемый кустарничково-сфагновый сосновый древостой (ПП 2), в котором в 1966 г. проведена гидромелиорация; осушитель сильно зарос травянистой и древесно-кустарниковой растительностью, глубина канала – 1,5 м, уровень воды – 70 см, расстояние между осушителями – 60 м, течение воды не отмечено, однако свои функции по осушению канал выполняет.

ПП закладывали вдоль осушительного канала вглубь на 20 м в межканальное пространство.

Закладку ПП производили согласно ОСТ 56-69–83 [7] и рекомендациям Н.Н. Соколова (1978) [13], тип леса устанавливали по В.Н. Сукачеву (1961) [14], класс бонитета на осушенных площадях – по таблицам хода роста А.В. Тюрина [12]. Исследования проводили с июня по август в 2013–2015 гг. в средневозрастных сосновых древостоях с количеством исследуемых деревьев не менее 150 шт. на каждой ПП. Смолопродуктивность деревьев сосны определяли по длине потека живицы методом четырех равновеликих ранений по сторонам света на подрубленные части ствола дерева (на высоте $h = 1,3$ м) [8–10]. Ранения наносили специальным устройством (ударником) под углом 45° (имитация подновки) к оси ствола в верхней части подготовленного места. По истечении 10 ч измеряли длины потеков и рассчитывали их среднее арифметическое значение.

По средней длине потека живицы устанавливали категорию смолопродуктивности отдельного дерева и древостоя в целом. Согласно ОСТ 13-80–79 [6] смолопродуктивность определяли по выходу живицы на карадециподновке (ширина кары 10 см). Для проведения сравнительного анализа отбирали деревья сосны диаметром 10 см и более. Таксационная характеристика сосновых насаждений представлена в табл. 1.

Таблица 1

Таксационная характеристика сосновых древостоев

Номер ПП	Тип леса	Состав	Средние*		Класс возраста	Полнота	Класс бонитета
			диаметр, см	высота, м			
1	С. куст.-сф.	10С+Б	8,5±0,64	10,6±0,69	III	0,6	IV
2	С. куст.-сф. (осуш.)	7СЗБ	7,8±0,46	10,5±0,55	III	0,6	V
3	С. черн. (свежий)	9С1Б	13,2±0,73	15,4±0,52	III	0,6	II

*Приведены данные с ошибкой определения.

Разница между значениями среднего диаметра осушаемого древостоя и значениями, полученными для заболоченных участков, объясняется наличием тонкомера на мелиоративных территориях.

Результаты обработаны статистически с использованием программного обеспечения Stat plus 2009.

В ходе сравнительного анализа данных по смолопродуктивной способности сосны в разных лесорастительных условиях важно определить величину ступени, ограничивающей положение деревьев каждой группы смолопродуктивности древостоя. Согласно классификации В.И. Суханова (1991) [15], деревья независимо от условий произрастания подразделяются на три категории: низко- (от 0,10 до 43,65 см), средне- (от 43,66 до 87,20 см) и высокосмолопродуктивные (от 87,20 до 130,75 см). Отнесение деревьев к определенной категории по смолопродуктивной способности осуществлено по формуле, предложенной М.И. Калинин (1978) [4]:

$$P = \frac{N-n}{3},$$

где P – величина ступени, ограничивающей положение деревьев в каждой группе смолопродуктивности, см;

N – максимальная длина потока живицы, см;

n – минимальная длина потока живицы, см.

Результаты исследования и их обсуждение

При проведении сравнительного анализа смолопродуктивности сосны определяли статистические показатели длины потока живицы у деревьев, отобранных в разных лесорастительных условиях (табл. 2).

Таблица 2

Статистические показатели длины потока живицы у деревьев сосны обыкновенной на ПП с разными лесорастительными условиями

Статистический показатель	Значение показателя с ошибкой определения			$t_{\text{факт}}$		
	ПП 1	ПП 2	ПП 3	ПП 1–2	ПП 1–3	ПП 2–3
Длина потока X , см	$X_{\text{ср}} = 22,9 \pm 0,72$ $X_{\text{мин}} = 1,1$ $X_{\text{макс}} = 127,9$	$X_{\text{ср}} = 4,9 \pm 0,97$ $X_{\text{мин}} = 0,1$ $X_{\text{макс}} = 130,8$	$X_{\text{ср}} = 60,9 \pm 1,18$ $X_{\text{мин}} = 0,1$ $X_{\text{макс}} = 119,8$	16,6	27,5	11,8
Статистическое отклонение σ	16,52	24,12	24,96			
Коэффициент вариации S , %	71,86	56,11	40,98			
Точность опыта p , %	3,14	2,26	1,93			
Достоверность t	31,88	44,30	51,75			
Асимметрия α	1,38	0,55	-0,07			
Ошибка асимметрии m_{α}	0,11	0,09	0,12			
Достоверность асимметрии t_{α}	12,55	5,61	-1,58			
Эксцесс j	6,44	3,16	2,35			
Ошибка эксцесса m_j	0,21	0,19	0,23			
Достоверность эксцесса t_j	30,62	16,60	10,22			
Оценка нормальности распределения по критерию Колмогорова–Смирнова	0,03 < 0,14 (нормальность принята)	0,00 < 1,00 (нормальность принята)	0,03 < 0,59 (нормальность принята)			

Как видно из данных табл. 2, среднее значение длины потока живицы возрастает с улучшением условий произрастания древостоя и сильно варьирует (22,09...60,90 см), оптимальные условия для роста и развития обеспечивает только сосняк черничный свежий, который относится к категории средней смолопродуктивной способности. Гидроморфные типы леса характеризуются низкосмолопродуктивными формами сосны. Прямой признак смолопродуктивности (длина потока живицы) тоже не постоянен и колеблется в пределах 40,98...71,86 % в зависимости от лесорастительных условий. Максимальное значение его отмечено в сосняке кустарничково-сфагновом. Длина потока зависит от большого числа внешних факторов и более активных физиологических процессов, протекающих в стволе дерева. Достоверность различий показателей доказана ($t_{\text{факт}} > 3$).

Показатели асимметрии и эксцесса отражают степень смещения ряда распределения относительно среднего значения и категорию вершинности кривой (рис. 1).

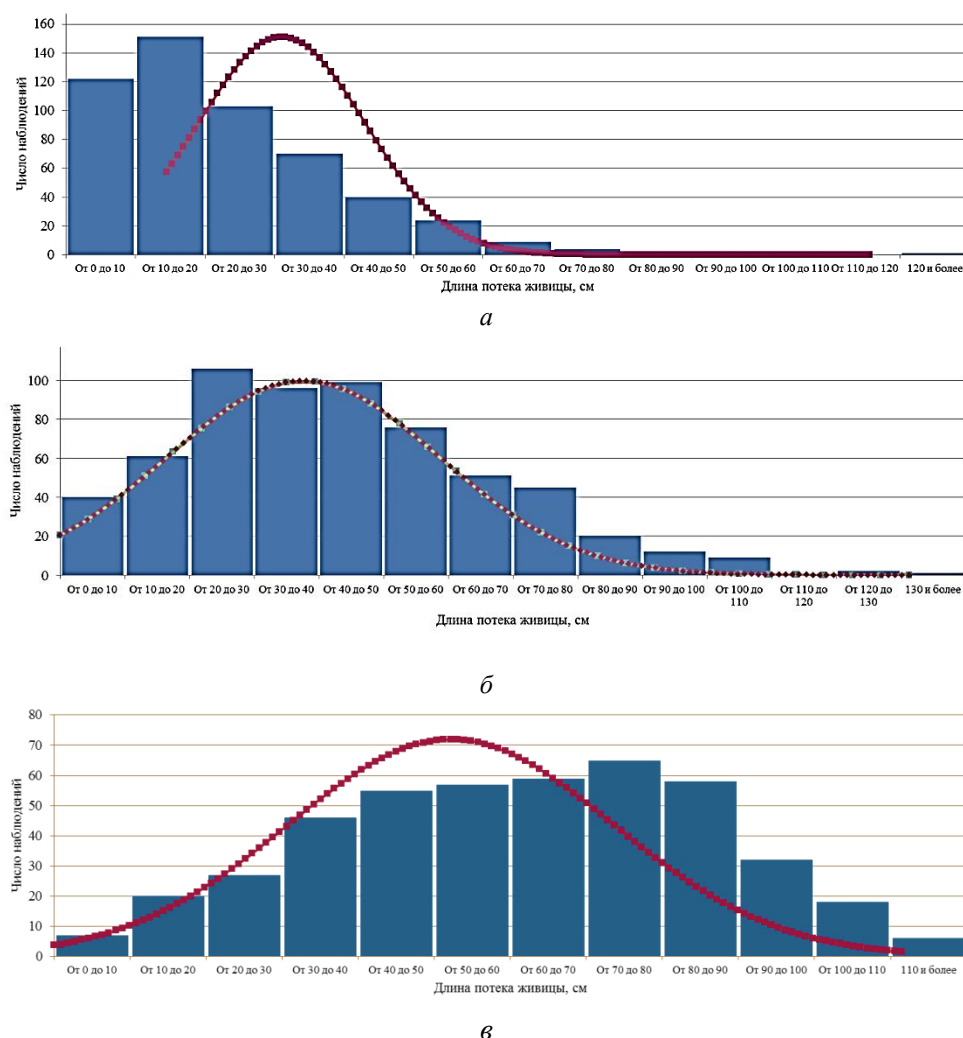


Рис. 1. Распределение деревьев сосны по смолопродуктивности в разных лесорастительных условиях: *а* – сосняк кустарничково-сфагновый (ПП 1); *б* – осушаемый сосняк кустарничково-сфагновый (ПП 2); *в* – сосняк черничный свежий (ПП 3)

Распределение деревьев по смолопродуктивности можно считать нормальным, а отклонения, которые имеют место, случайными. В гидроморфных насаждениях кривая нормального распределения положительная, высоковершинная и смещена вправо (рис. 1, а, б). Причиной этому является негативное воздействие близкого залегания грунтовых вод. Высокий процент низкосмолопродуктивных деревьев в сосняке кустарничково-сфагновом подтверждает этот факт. Проведение гидромелиорации позволяет увеличить число средне- и высокосмолопродуктивных деревьев сосны в 3 раза и сократить количество низкосмолопродуктивных форм древостоя (табл. 3).

Таблица 3

**Распределение (%) деревьев сосны обыкновенной
в зависимости от смолопродуктивной способности
на ПП с разными лесорастительными условиями**

Категория смолопродуктивности	Сосняк		
	ПП 1	ПП 2	ПП 3
Низкосмолопродуктивные	88,6	57,0	42,0
Среднесмолопродуктивные	11,0	38,0	43,0
Высокосмолопродуктивные	0,4	5,0	15,0
<i>Итого</i>	100,0	100,0	100,0

При снижении уровня грунтовых вод и отводе избытка влаги в почве наблюдается уменьшение асимметрии и эксцесса (см. табл. 2), однако осушаемый древостой также не соответствует критериям кривой нормального распределения. Близок к нормальному распределению только сосняк черничный. Достоверность отклонения зеленомошного насаждения ($t_{\alpha} = 1,58 < 3$) не доказана. Черничный древостой характеризуется примерно одинаковым количеством деревьев низкой и средней смолопродуктивности, что может обеспечить наибольший выход живицы и повысить его продуктивную способность (см. рис. 1, в, табл. 3).

В связи с этим для увеличения смолопродуктивности насаждения и в конечном счете количества добываемой живицы в условиях Архангельской области в подпочку целесообразно вовлекать насаждения черничного типа леса, проводить осушение заболоченных сосняков и подсаживать деревья только высокой и средней категории смолопродуктивности. Низкосмолопродуктивные формы не представляют ценности для подпочного производства из-за невысокого смолообразования и смолыделения (рис. 2).

Проведенный сравнительный анализ процентного соотношения деревьев сосны по смолопродуктивности подтвердил пригодность черничного древостоя для целей подпочки. Самая высокая доля деревьев с наибольшим содержанием живицы отмечена в зеленомошном типе леса (сосняк черничный), что выше в 1,3 раза, чем в осушаемом древостое, и в 5 раз, чем на заболоченных землях. Осушение последних улучшит условия произрастания древостоя и, как следствие, может в 4 раза увеличить долю деревьев, пригодных для подпочки, и на 32 % повысить их смолопродуктивность. При анализе влияния условий произрастания на выход живицы определили достоверность различий смолопродуктивной способности древостоя. В изучаемых типах леса фактический показатель достоверности ($t_{\text{факт}} > 3$) превышает пороговое значение критерия Стьюдента ($t_{st} = 3$) [3], что подтверждает достоверность различий (см. табл. 2).

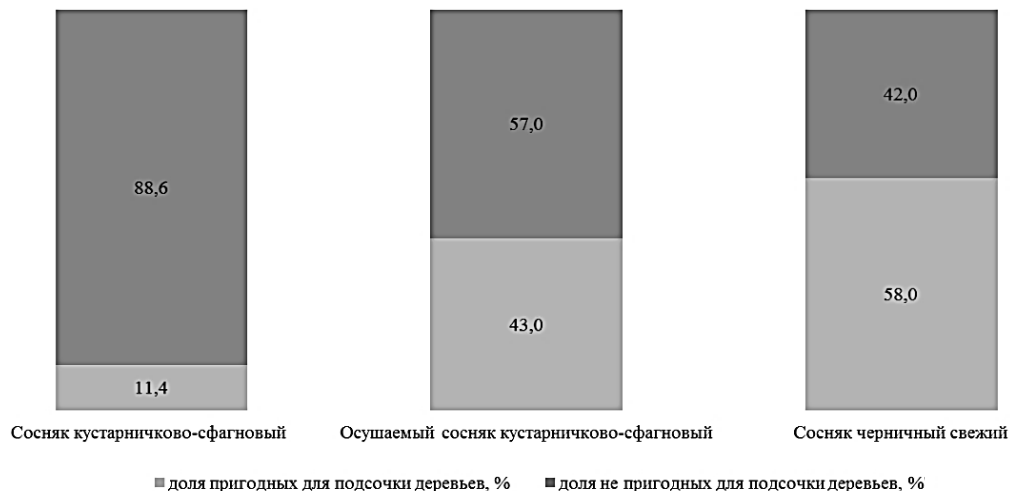


Рис. 2. Соотношение деревьев сосны по пригодности для целей подсочки в разных лесорастительных условиях

Можно предположить, что это связано с преобладанием благоприятных условий произрастания насаждения. Использование зеленомошных типов леса (сосняк черничный) и проведение гидромелиорации на заболоченных территориях повышают выход живицы и смолопродуктивность сосны в целом.

Влияние условий произрастания на смолопродуктивность сосны отражает дисперсионный анализ изучаемых показателей. Для проведения анализа было отобрано 13 модельных деревьев одного диаметра ($d = 13$ см) в трех разных лесорастительных условиях (ПП 1–3). Ниже приведены результаты дисперсионного анализа, отражающие влияние условий произрастания на длину потока живицы.

Показатель силы влияния \pm ошибка ($\eta^2 \pm m$).....	0,51 \pm 0,03
Сила влияния, %.....	51
Критерий Фишера F.....	16,5
Критерий Фишера стандартный $F_{0,01}$	2,2

В ходе исследований установлены сила и достоверность влияния типа леса на выход живицы средневозрастного древостоя. Дисперсионный анализ доказал зависимость длины потока живицы от лесорастительных условий.

Среди факторов, влияющих на смолопродуктивную способность сосны, 51 % приходится на действие условий произрастания древостоя, остальное – на климатические факторы, лесоводственно-таксационные показатели насаждения и анатомическое строение древесины. Показатель достоверности силы влияния сравнивают со стандартным критерием Фишера. При 1 %-м уровне значимости $F_{0,01} = 2,2$, достоверность составляет 16,5 ($F > F_{0,01}$; $16,5 > 2,2$). Следовательно, влияние лесорастительных условий на увеличение длины потока живицы доказано и достоверно.

Заключение

Полученные данные подтверждают возможность использования на практике экспресс-метода (метода четырех ранений) для определения смоло-

продуктивности сосновых насаждений. Лесорастительные условия на 51 % обуславливают выход живицы сосны. Осушение заболоченных лесных земель увеличивает смолопродуктивность древостоев на 32 %, а долю деревьев, пригодных для подсочки, – в 4 раза. В подсочку целесообразнее вовлекать сосняки черничного типа леса, так как по смолопродуктивности они в 1,3 раза превышают осушаемые древостои и в 5 раз заболоченные.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Высоцкий А.А.* Биологическая смолопродуктивность местных и некоторых интродуцированных видов сосны // Лесная интродукция: сб. науч. тр. М.: Изд-во ЦНИИЛГиС, 1983. С. 146–151.
2. *Высоцкий А.А., Евлаков П.М.* Устойчивость сосны обыкновенной к корневой губке в связи со смолопродуктивностью деревьев и содержанием основных монотерпенов в живице // Тр. СПбНИИЛХ. 2014. № 4. С. 5–20.
3. *Дворецкий М.Л.* Пособие по вариационной статистике. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Лесн. пром-сть, 1971. 104 с.
4. *Калинин М.И.* Моделирование лесных насаждений (Биометрия и стереометрия). Львов: Вища шк., 1978. 207 с.
5. *Медников Ф.А.* Подсочка леса. М.: Гослесбумиздат, 1955. 280 с.
6. ОСТ 13-80–79. Подсочка сосны. Термины и определения. М.: Минлесбумдревпром, 1979. 20 с.
7. ОСТ 56-69–83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. Введ. 1984–01–01. М., 1983. 60 с.
8. *Петрик В.В.* Лесоводственные методы повышения смолопродуктивности сосновых древостоев. Архангельск: АГТУ, 2004. 236 с.
9. *Петрик В.В., Горкин А.И., Петрик Н.И.* Совершенствование организации подсочки и планирования труда вздымщиков: моногр. Архангельск: АГТУ, 2008. 136 с.
10. *Положенцев П.А.* Метод искусственных ранений для определения жизнедеятельности сосны // Лесн. хоз-во. 1951. № 7(34). С. 13–29.
11. *Рябчук В.П., Гриб В.М., Осадчук Л.С., Юськевич Т.В.* Підсочка лісу та лісохімія: навчальний посібник. К.: ІНКООС, 2012. 204 с.
12. *Сабо Е.Д., Иванов Ю.Н., Шатило Д.А.* Справочник гидроресомелиоратора / под ред. Е.Д. Сабо. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 200 с.
13. *Соколов Н.Н.* Методические указания к дипломному проектированию по таксации пробных площадей. Архангельск: АЛТИ, 1978. 44 с.
14. *Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания к изучению типов леса. М.: АН СССР, 1961. 144 с.
15. *Суханов В.И., Ярунов А.Я., Петрик В.В., Федяев А.Л.* Технологические и лесоводственные методы интенсификации подсочных насаждений. Архангельск: АИЛиЛХ, 1991. 32 с.
16. *Allen H.L., Fox T.R., Albaugh T.J.* Productivity and Nutrient Management Concepts and Fertilization Practices in Southern Pine Plantations. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/267935759_productivity_and_nutrient_management_concepts_and_fertilization_practices_in_southern_pine_plantations (дата обращения: 30.09.2017).
17. *Knebel L., Robison D.J., Wentworth T.R., Klepzig K.D.* Resin Flow Responses to Fertilization, Wounding and Fungal Inoculation in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) in North Carolina // Tree Physiology. 2008. Vol. 28, iss. 6. Pp. 847–853.
18. *Warren J.M., Allen H.L., Booker F.L.* Mineral Nutrition, Resin Flow and Phloem Phytochemistry in Loblolly Pine // Tree Physiology. 1999. Vol. 19, iss. 10. Pp. 655–663.

Поступила 29.10.17

UDC 630*284.2

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.49

Comparative Analysis of Pine Resin Productivity in Different Forest Site Types*N.O. Pastukhova, Postgraduate Student**A.I. Gorkin, Candidate of Agricultural Sciences**O.P. Lebedeva, Postgraduate Student*

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,

Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: hope203@yandex.ru

Pinus sylvestris L. has always been in the highlight of scientists and researchers due to its high resin productivity. The ability to allocate a certain amount of turpentine depends primarily on the forest type and stand growth conditions. For the comparative analysis of pine resin productivity in different forest growth conditions the authors established permanent sample plots in the middle-aged pine stands of the II–IV site quality classes of the myrtillus-type forest, shrub and sphagnous drained and waterlogged growth conditions. In the course of the studies, the pine resin productivity was determined by the length of the turpentine flow by the four wounds method in the cardinal directions, which allowed obtaining reliable results within the shortest period of time. We identified the category of resin productivity for each tree. The influence of growth conditions on resin productivity was determined by the dispersion analysis and the percentage ratio of pine trees under different growth conditions. In favorable conditions for the growth and development of the stand, when surface runoff drainage and lowering the groundwater level, the pine resin productivity and the proportion of trees suitable for tapping increased. Hydrotechnical melioration allowed increasing the number of medium- and highly resin-productive pines by a factor of 3. Optimal conditions for the production of resin were provided only in the myrtillus-type pine forest. The dispersion analysis reliably confirmed the influence of growing conditions on the resin productivity of Scots pine.

Keywords: turpentine, resin productivity, resin flow length, category of pine resin productivity, rapid method.

REFERENCES

1. Vysotskiy A.A. Biologicheskaya smoloproduktivnost' mestnykh i nekotorykh introdutsirovannykh vidov sosny. Lesnaya introduktsiya [Biological Resin Productivity of Local and Some Introduced Species of Pine. Forest Introduction]. *Sbornik nauchnykh trudov Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnoy genetiki i selektsii* [Proceedings of the Central Scientific Research Institute of Forest Genetics and Breeding], 1983, pp. 146–151. (In Russ.)
2. Vysotskiy A.A., Evlakov P.M. Ustoychivost' sosny obyknovennoy k kornevoy gubke v svyazi so smoloproduktivnost'yu derev'ev i sodержaniem osnovnykh monoterpenov v zhivitse [Stability of Scots Pine to the Pine Fungus in Connection with the Tree Resin Productivity and the Content of Main Monoterpenes in Turpentine]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2014, no. 4, pp. 5–20. (In Russ.)
3. Dvoret'skiy M.L. *Posobie po variatsionnoy statistike* [A Textbook on Variation Statistics]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1971. 104 p. (In Russ.)

For citation: Pastukhova N.O., Gorkin A.I., Lebedeva O.P. Comparative Analysis of Pine Resin Productivity in Different Forest Site Types. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 49–57. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.49

4. Kalinin M.I. *Modelirovanie lesnykh nasazhdeniy (Biometriya i stereometriya)* [Modeling of Forest Plantations (Biometry and Stereometry)]. Lviv, Vishcha shkola Publ., 1978. 207 p. (In Russ.)
5. Mednikov F.A. *Podsochka lesa* [Resin Tapping]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1955. 280 p. (In Russ.)
6. OST 13-80–79. *Podsochka sosny. Terminy i opredeleniya* [Industrial Standard 13-80–79. Resin Tapping. Terms and Definitions]. Moscow, Minlesbumdrevprom Publ., 1979. 20 p. (In Russ.)
7. OST 56-69–83. *Ploshchadi probnye lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Industrial Standard 56-69–83. Forest Management Sampling Areas. Line-Intercept Method]. Moscow, 1983. 60 p.
8. Petrik V.V. *Lesovodstvennye metody povysheniya smoloproduktivnosti sosnovykh drevostoev* [Silvicultural Methods of Resin Productivity Improvement of Pine Stands]. Arkhangelsk, 2004. 236 p. (In Russ.)
9. Petrik V.V., Gorkin A.I., Petrik N.I. *Sovershenstvovanie organizatsii podsochki i planirovaniya truda vzdymshchikov* [Improvement of Resin Tapping and Layout of Work of Resin Collectors]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2008. 136 p. (In Russ.)
10. Polozhentsev P.A. *Metod iskusstvennykh raneniy dlya opredeleniya zhiznedeiatel'nosti sosny* [The Method of Artificial Wounds for Determining the Vital Functions of Pine]. *Lesnoe khozyaystvo*, 1951, no. 7(34), pp. 13–29.
11. Ryabchuk V.P., Grib V.M., Osadchuk L.S., Yus'kevich T.V. *Pidsochka lisu ta li-sokhimiya* [Resin Tapping and Forest Chemistry]. Kiev, INKOS Publ., 2012. 204 p.
12. Sabo E.D., Ivanov Yu.N., Shatillo D.A. *Spravochnik gidrolesomelioratora* [Handbook of Forest Hydromeliorator]. Ed. by E.D. Sabo. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 200 p. (In Russ.)
13. Sokolov N.N. *Metodicheskie ukazaniya k diplomnomu proektirovaniyu po taksatsii probnykh ploshchadey* [Methodical Instructions to the Degree Project on the Estimation by Circular Sample Plots]. Arkhangelsk, ASTI Publ., 1978. 44 p. (In Russ.)
14. Sukachev V.N., Zonn S.V. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* [Methodological Guidelines for the Forest Types Study]. Moscow, USSR AS Publ., 1961. 144 p. (In Russ.)
15. Sukhanov V.I., Yaranov A.Ya., Petrik V.V., Fedyaev A.L. *Tekhnologicheskie i lesovodstvennye metody intensivatsii podsochnykh nasazhdeniy* [Technological and Silvicultural Methods for Intensification of Tapping Plantations]. Arkhangelsk, 1991. 32 p. (In Russ.)
16. Allen H.L., Fox T.R., Albaugh T.J. *Productivity and Nutrient Management Concepts and Fertilization Practices in Southern Pine Plantations*. Available at: https://www.researchgate.net/publication/267935759_productivity_and_nutrient_management_concepts_and_fertilization_practices_in_southern_pine_plantations (accessed 30.09.2017).
17. Knebel L., Robison D.J., Wentworth T.R., Klepzig K.D. Resin Flow Responses to Fertilization, Wounding and Fungal Inoculation in Loblolly Pine (*Pinus taeda*) in North Carolina. *Tree Physiology*, 2008, vol. 28, iss. 6, pp. 847–853.
18. Warren J.M., Allen H.L., Booker F.L. Mineral Nutrition, Resin Flow and Phloem Phytochemistry in Loblolly Pine. *Tree Physiology*, 1999, vol. 19, iss. 10, pp. 655–663.

Received on October 29, 2017



УДК 625.7/8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МОДЕЛЕЙ МЕСТНОСТИ ДЛЯ ТРАССИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*М.М. Умаров, экстерн**А.В. Скрыпников, д-р техн. наук, проф.**Е.В. Чернышова, асп.**Е.Ю. Микова, экстерн*

Воронежский государственный университет инженерных технологий, просп. Революции, д. 19, г. Воронеж, Россия, 394036; e-mail: m_m_umarov@mail.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_y_mikova@mail.ru

Большие возможности для повышения производительности и качества инженерного труда предоставляют механизация и автоматизация различных процессов инженерной деятельности с помощью электронной вычислительной техники. Это относится и к процессу проектирования, где выбор оптимального решения связан с рассмотрением и обработкой большого числа возможных вариантов. Применение электронно-вычислительных машин не только ускоряет расчеты, но и позволяет использовать для решения более строгие зависимости, что повышает точность вычислений. В некоторых случаях это дает возможность по-новому организовать процесс получения исходной информации. Первоначально автоматизации подвергались отдельные небольшие виды расчетов без какого-либо существенного изменения существующих технологических схем. В настоящее время с появлением новых математических методов стоит вопрос о создании автоматизированных систем на базе современных вычислительных машин, решающих весь комплекс задач по конкретной теме. В области дорожного проектирования на первом этапе автоматизации инженерных расчетов составляются программы, обслуживающие отдельные промежуточные этапы проектирования, связанные с большим объемом вычислений и не требующие вариантной проработки (например, программы подсчета объемов земляных работ, площадей откосов земляного полотна, ливневого стока, скоростей движения и др.), на втором этапе проводятся комплексные расчеты, включающие логические элементы и связанные с обработкой, анализом большого количества вариантов и выбором оптимального из них по ряду показателей. Цель наших исследований – разработка методики определения оптимального варианта трассы лесной автомобильной дороги по стереомодели местности.

Ключевые слова: лесная автомобильная дорога, трассирование, продольный профиль, цифровая модель местности.

Введение

Опыт отечественных и зарубежных исследований в области изысканий показывает, что наиболее эффективным средством получения геометрических характеристик местности является пространственная фототриангуляция с

Для цитирования: Умаров М.М., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю. Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 58–69. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

применением электронных вычислительных машин (ЭВМ). С учетом специфики линейных изысканий был разработан метод и составлена программа аналитического сгущения, позволяющая значительно снизить объемы работ по созданию геодезического обоснования. По сравнению с топографической съемкой этот метод позволяет в труднодоступных районах уменьшить трудозатраты в 8–10 раз [4]. При изысканиях новых линий с прокладкой магистрального хода трудозатраты на планово-высотную подготовку снимков сокращаются примерно в 2 раза.

Среди отечественных работ в этом направлении следует отметить исследования сотрудников Центрального научно-исследовательского института материалов, Института кибернетики, Казанского автомобильно-дорожного института, Московского автомобильно-дорожного университета (МАДУ) и ряда других организаций, которые изучают способы построения математических моделей рельефа местности, вопросы выбора направления трассы в пределах зоны варьирования, определения проектных элементов трассы, подобранных на стереомодели, отыскания оптимальной линии продольного профиля в заданном направлении и др. [2, 5]. В настоящее время эти исследования находятся в стадии экспериментального апробирования.

В нашей стране большое внимание уделяется созданию математических методов и алгоритмов оптимизации продольного профиля. В МАДУ разработан метод трассирования лесных автомобильных дорог по стереомодели с учетом сложившихся условий местности. Укладка трассы ведется в зоне варьирования по математической модели местности, создаваемой сетью структурных (орографических) линий. Измеренные по снимкам координаты точек структурных линий преобразуются в единую геодезическую систему координат методом аналитической фототриангуляции. Этот метод предполагает использование в качестве исходной информации не только данных о топографических характеристиках местности, но и геологических, гидрологических и других характеристик.

Цель нашего исследования – разработка методики определения оптимального варианта трассы лесной автомобильной дороги по стереомодели местности.

Объекты и методы исследования

Исследованию подлежит процесс выбора оптимального варианта трассы. При этом в намеченной полосе варьирования предложено разбивать весь процесс на два этапа: последовательный подбор оптимального направления проектируемой линии в заданной полосе; отыскание оптимальной трассы данного направления. На первом этапе внутри полосы возможного варьирования отыскивается система точек, определяющих для каждого конкретного значения руководящего уклона оптимальное прохождение трассы в намеченной зоне, на втором этапе при условии минимума приведенных строительно-эксплуатационных затрат осуществляется перебор всех возможных вариантов. Ограничением данного метода является равенство типов продольных профилей по вариантам.

Методика укладки трассы предполагает сочетание труда квалифицированного проектировщика и ЭВМ. Проектировщик анализирует по крупномасштабным картам положение трассы на всем протяжении и отмечает ее фиксированные участки. На остальных участках намечаются возможные варианты изменения вершин углов поворота и радиусов кривых. Поиски лучше-

го обхода или пересечения препятствий, более полного использования уклонов трассирования, а также проверку возможности спрямления трассы или улучшения линии на плане за счет более удачного подбора радиусов кривых выполняет ЭВМ. Отделка трассы проводится по цифровой модели рельефа местности.

Результаты исследования и их обсуждение

Основным условием качественного проектирования будущего сооружения является полнота и достоверность исходной информации. Эти требования изложены в строительных нормах и правилах (СНиП) [1] и инструкциях по проведению геодезических измерений. Поскольку точность геодезических измерений оказывает влияние на производительность процесса изысканий, исследование этого вопроса представляет практический интерес.

В табл. 1 приведены нормативные требования к точности нивелировочных работ и угломерных определений.

Таблица 1

Обобщенные нормативные требования точности

Точность линейных измерений	Расстояние, км	Расхождение двойного нивелирования	Угловая невязка, мин
1:1000	3...4	$50\sqrt{L}$	–
1:1000...1:500	1	$(30...15)\sqrt{L}$	–
1:1000...1:500	1	$30\sqrt{L}$	–
1:1000...1:500	1	$(150...50)\sqrt{L}$	1,5...3,0

Примечание. L – расстояние между вершинами углов поворота.

Анализ данных табл. 1 показывает последовательное изменение требований к точности геодезических измерений.

Действующими в настоящее время нормативными документами установлены единые требования к точности производства геодезических и аэрогеодезических работ. В соответствии с принятым в настоящее время двухстадийным процессом проектирования эти требования разделены на две подгруппы: рекогносцировочные (предварительные) и подробные изыскания (табл. 2).

Таблица 2

Допустимые невязки топографо-геодезических работ при изысканиях лесных автомобильных дорог

Изыскания, вид работ	Измерения		
	угловые, мин	линейные	высотные, мм
Предварительные: магистральные ходы	2,0 (между полу-приемами на стоянке)	1:300	$300\sqrt{L}$
в замкнутых полигонах	$3,0'\sqrt{n}$	–	–
Ходы обоснования аэрофото-съемок	$3,0\sqrt{n}$	1:1000, 1:500 (в трудных условиях)	$150\sqrt{L}$
Подробные – полигоны для детальных планов	$1,5\sqrt{n}$	1:1000	$50\sqrt{L}$

Примечание. n – количество линий.

Отсутствие в инструкциях по проведению геодезических измерений каких-либо обоснований и конкретных указаний по применению на практике приведенных в табл. 2 точностей изыскательских работ не может не влиять на производительность, технологию и экономику геодезических измерений [7]. Степень применения аэрометодов и полнота использования материалов аэрофотосъемки на той или иной стадии проектно-изыскательских работ определяются теми задачами, которые решаются на них. Поскольку обе стадии (подбор оптимального направления проектируемой линии в заданной полосе; отыскание оптимальной трассы данного направления), технический проект и рабочие чертежи, согласно табл. 2, относятся к одной подгруппе подробных изысканий, то точность и технология работ подразумеваются одинаковыми, несмотря на различие задач, которые решаются на этих стадиях. Если на стадии технического проекта основной упор делается на определение стоимости, сроков и технико-экономических показателей будущего строительства, то на заключительной стадии, когда составляются рабочие чертежи, основным моментом является качество будущего строительства. Естественно, что требования к точности результатов изысканий на заключительной стадии должны быть максимальными.

В СНиП 11-02–96 также ничего не говорится о расстояниях, которые должны измеряться с указанной точностью. Если это относится к отдельным линиям, из которых слагается трасса, то общая ошибка всей трассы будет меньше в \sqrt{n} раз, чем ошибка измерения каждой линии.

На основании проведенных нами исследований, в которых изучалась взаимосвязь проектно-изыскательских работ с технико-экономическими показателями дорожного строительства и условиями автомобильного движения, было установлено, что действующие в настоящее время требования к точности геодезических работ не соответствуют их действительно необходимой точности. Они завышены и требуют изменений. Так, в работе [4] была предложена новая методика определения предельных точностей производства геодезических и аэрогеодезических работ при изысканиях лесных автомобильных дорог.

С учетом различий в стоимости строительства и автоперевозок для дорог различных категорий были составлены таблицы предельных точностей производства геодезических измерений при изысканиях лесных автомобильных дорог, в которых предельные ошибки геодезических измерений дифференцированы по стадиям проектирования, категориям дорог и условиям местности.

Исследования [3, 6] также свидетельствуют о том, что действующие нормативные требования к точности геодезических измерений завышены и недостаточно учитывают специфику каждого вида линейных изысканий.

Основное отличие аэроизысканий от наземных состоит в том, что геометрические параметры местности определяются по ее фотограмметрической модели, полученной в результате фотограмметрической обработки. Для ориентирования и масштабирования фотограмметрической модели относительно исходной геодезической системы координат необходимо, чтобы ряд точек этой модели был определен в геодезической системе координат.

На рис. 1 показаны различные схемы размещения опознаков (точка объекта фотограмметрической съемки с известными пространственными координатами, опознанная на фотограмметрическом снимке) на маршруте аэросъемки.

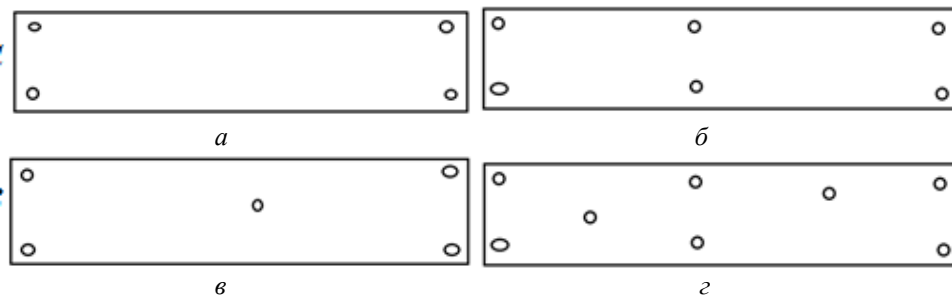


Рис. 1. Схемы размещения опознаков на маршруте: *a* – 4 опознака, *б* – 6, *в* – 5, *г* – 8

Эти точки, кроме геодезического ориентирования, позволяют выявлять систематические ошибки фототриангулирования и, следовательно, устранять их влияние.

Практика показала, что в большинстве случаев для маршрутов, состоящих из 10–15 снимков, удовлетворительные результаты получаются при размещении опознаков по схемам рис. 1, *a*, *б* [10]. В случае, когда длина маршрута составляет 20–25 снимков, подходят схемы, приведенные на рис. 1, *в*, *г*. Более длинные сети целесообразно делить на части.

Так как точность определения геодезических координат опознаков влияет на точность определения координат по фотограмметрической модели, находим этот показатель исходя из норм точности, приведенных в действующих инструкциях. Поскольку в них не указана точность определения координат точек по трассе, будем исходить из положения, что относительная ошибка определения длины между двумя точками не должна превышать 1:1 000. Как следует из схем, изображенных на рис. 1, наименьшее расстояние между опознаками наблюдается у тех, которые составляют поперечную пару, а наибольшее примерно соответствует длине маршрута. Для дальнейшего рассмотрения принимаем: средний масштаб 1:10 000, средняя длина маршрута 10 км. При этих значениях наименьшее расстояние между опознаками составит 1,3 км (относительная ошибка – 1,3 м), наибольшее – 10,0 км (ошибка – 10,0 м). Поскольку данные ошибки являются результатом измерения координат в двух точках, точность определения в одной точке

$$m'_p = \frac{1,30}{\sqrt{2}} = \pm 0,92 \text{ м.}$$

Принимая эту ошибку за предельную, находим точность взаимного положения близко расположенных опознаков $m_{p\delta} = \pm 0,4$ м.

С увеличением расстояния между опознаками абсолютное значение относительной ошибки будет возрастать, в связи с чем точность определения их планового положения будет снижаться. Поэтому точность взаимного положения близко расположенных точек принимаем за точность определения плановых координат опознаков для всего маршрута: $m_p = \pm 0,4$ м.

Передачу координат по маршруту с указанной точностью можно осуществить по методу триангуляции, или полигонометрии. Применение в этом случае светодальномеров с большим запасом обеспечит необходимую точность линейных измерений.

При расчете точности угловых измерений принимаем во внимание, что максимальная длина линий, измеряемых светодальномером, составляет порядка 5,0 км при средней длине около 2,0 км [11]. Поскольку смещение опре-

деляемой точки Δt , вызванное угловыми ошибками, прямо пропорционально длине линий S , находим ошибку угловых измерений v , обеспечивающую требуемую точность определения плановых координат (рис. 2).

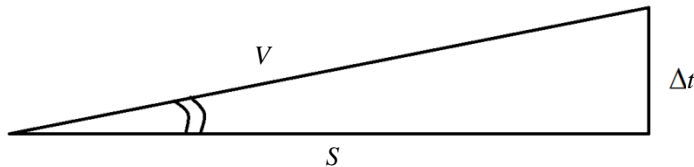


Рис. 2. Смещение определяемой точки из-за ошибок измерения углов

Для $S = 5000$ м имеем $v = 0,4 / 5000 = 0,00008 = 17''$; для $S = 2000$ м имеем $v = 0,4 / 2000 = 0,0002 = 40''$.

Такая точность может быть получена при измерении углов оптическими теодолитами.

Точность определения высот опознаков для целей фототриангулирования зависит от точности измерения превышений (h) по снимкам:

$$h = \frac{\Delta p}{b + \Delta p} H, \quad (1)$$

где b – высота прибора;

Δp – разность продольных параллаксов;

H – высота съемочного пикета (фотографирования).

После дифференцирования (1) получаем

$$dh = d\Delta p \frac{H}{p} + \Delta p \frac{dH}{p} - \Delta p \frac{H dp}{p^2}. \quad (2)$$

Переходя к среднеквадратическим ошибкам, имеем

$$m_h = \frac{H}{p} m_{\Delta p}, \text{ или } H = \frac{m_h}{m_{\Delta p}} p.$$

Таким образом, ошибка определения превышений по снимкам зависит от высоты фотографирования и ошибки измерения разности продольных параллаксов. Из зависимости (1) следует, что увеличение формата снимков повышает точность определения превышений при одинаковой высоте фотографирования.

При $m_{\Delta p} = \pm 0,015$ мм, $p = 70$ мм, $H = 1000$ м получаем:

$$m_h = \frac{H}{p} m_{\Delta p} = 0,2 \text{ м.}$$

Принимая эту величину за предельную ошибку измерения превышений, находим среднеквадратическую ошибку определения высот опознаков:

$$m_{\Delta h} = \frac{m_h \sqrt{2}}{2,5} = 0,11 \text{ м.}$$

Поскольку фотограмметрическая сеть ориентируется по нескольким опознакам, ошибка одного опознака будет в \sqrt{n} раз больше, т. е. для $n = 4$ имеем: $m'_h = \pm 0,11\sqrt{4} = \pm 0,22$ м; для $n = 6$ имеем $m'_h = \pm 0,11\sqrt{6} = \pm 0,27$ м.

Анализ работ [8, 9] по этой тематике показал, что дорожники считают возможным на заключительных стадиях проектирования использовать планы, по которым высоты точек определяются с ошибкой $m_h = \pm 0,15$ м.

Точность линейных измерений. Если положение отрезка на стереомодели зафиксировано в каких-то точках, то его длину l можно рассчитать по формуле $l = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}$. Если предположить, что ошибки определения координат по осям X и Y равны, т. е. $m_x = m_y$, то ошибку положения точки можно найти как $m_p = m_{x,y} \sqrt{2}$, тогда ошибка длины, установленная по двум точкам, $m_l = m_p \sqrt{2}$, а относительная ошибка длины

$$\frac{m_l}{l} = \frac{2m_{x,y}}{l}. \quad (3)$$

Так как систематические ошибки фотограмметрических сетей устраняются в процессе фототриангулирования, ошибки определения координат точек местности будут зависеть главным образом от случайных ошибок измерения координат снимков и масштаба фотографирования.

Находим минимальную длину отрезка m_l , измерение которой по фотограмметрической модели, обеспечит точность, рекомендованную в инструкциях, т. е. $\frac{m_l}{l} \leq \frac{1}{1000}$. Принимаем по снимкам ошибку измерения координат $m_{x,y} = \pm 0,02$ мм, знаменатель (l) масштаба снимков $m = 1000$. В этом случае ошибка измерения длины $m_l = 0,4$ м. Решая пропорцию $\frac{0,4}{l} = \frac{1}{1000}$, находим минимальную длину отрезка $l = 400$ м.

Поскольку на практике длина трассы значительно превышает найденное значение, ошибка определения длины трассы по фотограмметрической модели будет значительно меньше установленного в инструкциях допуска для наземных изысканий.

Точность угловых измерений. Пара точек в пространстве, кроме длины, определяет и направление данного отрезка. Если система координат задана, то дирекционный угол этого направления будет найден из выражения

$$\alpha = \arctg \frac{\Delta Y}{\Delta X}. \quad (4)$$

Так как ошибка координат одной точки $m_{x,y} = \pm 0,020$ м, то ошибка направления, вычисленного по двум точкам, составит $m_\alpha = \frac{m_{x,y} \sqrt{2}}{L}$.

При определении элементов трассы по стереомодели часто возникает задача установления углов поворота трассы, которые могут быть найдены через направления, образующие угол поворота, т. е. $m_\beta = m_\alpha \sqrt{2} = \frac{2m_{x,y}}{L}$.

Если за минимальное расстояние между вершинами принять $L = 200$ м, то ошибка определения угла поворота

$$\delta_\beta = \frac{0,4}{200} = 7';$$

для $L = 500$ м значение ошибки пропорционально уменьшится:

$$\delta_{\beta} = \frac{0,4}{500} = 2'.$$

Согласно требованиям [1], точность угловых измерений по трассе рассчитывается по формуле $m_{\beta} = 1,5'\sqrt{n}$. Таким образом, при определении углов поворота по снимкам при коротких расстояниях (200 м) полученная ошибка соответствует наземному ходу, когда $n = 10-12$ вершин. Если длина направлений, по которым устанавливается угол поворота, больше 500 м, точность определения углов становится выше, чем рекомендовано в инструкциях. Эти рассуждения имеют место при строгой обработке маршрута аэрофотосъемки.

Точность определения превышений по снимкам. Для средних значений $H = 1000$ м, $p = 70$ мм превышение

$$m_h = \frac{H}{p} m_{\Delta p} = 0,2 \text{ м.}$$

Так как превышение определяется между двумя точками, то ошибка такого превышения будет в $\sqrt{2}$ раз больше, т. е.

$$m_{\Delta h} = m_h \sqrt{2} = 0,28 \text{ м.}$$

В работе [6] установлено, что точность определения уклонов, равная 0,010...0,005, не оказывает заметного влияния на условия автомобильного движения. Поэтому, принимая 0,005 (0,5 м на пикет) за точность определения уклонов, рассчитаем масштаб аэрофотосъемки, обеспечивающий заданную точность. Принимая высоту уклона $f = 100$ мм, а $m_h = 0,5$ м, $p = 870$ мм, получаем:

$$\frac{1}{m} = \frac{f}{H},$$

где $H = \frac{m_h p}{m_{\Delta p}} = 1000$ м.

В местах с затрудненным водоотводом точность выдерживания уклонов для обеспечения стока должна быть не ниже 0,002 (0,2 м на пикет). Рассчитаем высоту фотографирования, обеспечивающую этот допуск:

$$H = \frac{m_h}{m_{\Delta p}} p = 400 \text{ м.}$$

Объем земляных работ на расчетном участке устанавливаем из следующей формулы:

$$V = F_{\text{ср}} L = L(Bh + h^2), \quad (5)$$

где L – длина расчетного участка;

B – отношение заложения откосов насыпи (или выемки) к ее высоте;

h – средняя рабочая отметка.

Продифференцировав выражение (5) по L_p и h , получаем ошибку при определении объема земляных работ:

$$dV = dL(Bh + \eta h^2) + dhL(B + 2\eta h). \quad (6)$$

Переходим к среднеквадратическим ошибкам и получаем для насыпи:

$$m_v = \sqrt{m_L^2 h^2 (B + \eta h)^2 + m_h^2 L^2 (B + 2\eta h)^2}; \quad (7)$$

$$\frac{m_v}{V} = \sqrt{\frac{m_L^2 h^2 (B + \eta h)^2}{L^2} + \frac{m_h^2 L^2 (B + 2\eta h)^2}{h^2}} = \frac{m_v}{V} = \sqrt{\frac{m^2}{L^2} + \frac{(B + 2\eta h)^2}{(B + \eta h)^2} \frac{m_h^2}{h^2}}; \quad (8)$$

для выемки:

$$\frac{m_v}{V} = \sqrt{\left(\frac{m_L}{L}\right)^2 + \frac{(B + 2\eta h)^2}{(B + \eta h + \omega)^2} \left(\frac{m_h}{h}\right)^2}. \quad (9)$$

Таким образом, принимая во внимание, что относительная ошибка линейных измерений значительно меньше остальных членов выражений (8)–(9), можно предположить, что относительная ошибка определения объемов будет зависеть в основном от ошибок превышений и рабочей отметки.

Заключение

Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог по сравнению с наземными методами позволяет: сократить сроки и объемы полевых геодезических работ; поднять производительность процесса изысканий и снизить его стоимость; улучшить технико-экономические показатели запроектированной трассы; сократить стоимость строительства за счет выбора лучших вариантов и использования более детальной информации о данной местности. В связи с тем, что очертания современной трассы приближаются к плавной пространственной кривой, применение шаблонов кривых является наиболее рациональным методом определения их приближенных значений, а следовательно, и положения будущей трассы на местности.

Наиболее эффективный метод создания цифровой модели местности на основе снимков – аналитическая фототриангуляция. Поскольку информация о местности представлена в цифровом (дискретном) виде, для построения продольного профиля необходима аналитическая модель рельефа местности, использующая данные цифровой модели.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инженерные изыскания для строительства. Основные положения. СНиП 11-02-96. М.: Госстрой России, ФГУП ЦПП, 2000. 45 с.
2. Курьянов В.К. Теоретические основы и формализация задач управления качеством дорожных покрытий на основе оптимизации ремонтных работ // Проблемы и перспективы лесного комплекса: материалы межвуз. науч.-практ. конф., Воронеж, 26–27 мая 2005 г. Воронеж: ВГЛТА, 2005. Т. 1. 264 с.
3. Скрытников А.В. Теоретические основы и методы организации и управления дорожным движением // Бюл. трансп. информ. 2010. № 1(175). С. 10–15.
4. Скрытников А.В. Методы, модели и алгоритмы повышения транспортно-эксплуатационных качеств лесных автомобильных дорог в процессе проектирования, строительства и эксплуатации: моногр. М.: ФЛИНТА, 2012. 310 с.
5. Скрытников А.В., Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В. Оптимизация межремонтных сроков лесовозных автомобильных дорог // Фундаментальные исследования. 2011. № 8(ч. 3). С. 667–671.

6. *Скряпников А.В., Умаров М.М., Арутюнян А.Ю., Чернышова Е.В.* Анализ методов оценки надежности сложных технических комплексов // Сб. тр. междунар. науч.-практ. конф. «Системный анализ и моделирование процессов управления качеством в инновационном развитии агропромышленного комплекса», Воронеж, 08–09 апр. 2015. Воронеж: ВГУИТ, 2015. С. 76–81.

7. *Скряпников А.В., Умаров М.М., Чернышова Е.В.* Роль состояния лесовозных автомобильных дорог в обеспечении удобства и безопасности движения в неблагоприятные периоды года // Наука. Технологии. Производство. 2015. № 2(6). С. 66–68.

8. *Чертвов Е.Д., Скряпников А.В., Буданов А.В., Котов Г.И.* Математические методы моделирования поиска принципов действия технических систем // Вестн. ВГУИТ. 2016. № 3(69). С. 110–115.

9. *Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V.* Analysis of Security Identity and Access Management Systems // International Journal of Control Theory and Applications. 2016. No. 9(1). Pp. 0974–5572.

10. *Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V.* Development of the Method for Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems // Journal of Digital Information Management. 2016. No. 14(5). Pp. 322–332.

11. *Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V.* Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2017. Vol. 12, iss. 2. Pp. 511–515.

Поступила 29.09.17

UDC 625.7/8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

Digital Elevation Model for Forest Road-Location

M.M. Umarov, External Student

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

E.V. Chernyshova, Postgraduate Student

E.Yu. Mikova, External Student

Voronezh State University of Engineering Technology, pr. Revolyutsii, 19, Voronezh, 394036, Russian Federation; e-mail: m_m_umarov@mail.ru, skrypnikovvsafe@mail.ru, elenabok@mail.ru, e_y_mikova@mail.ru

Mechanization and automation of various engineering processes using computers afford ground for the efficiency improving and the quality of engineering effort. This also applies to the design process, where often the final optimum choice involves the consideration and processing of a large number of possible options. The use of computers allows us not only to accelerate calculations, but also to use more stringent dependencies for the solution, which increases the accuracy of calculations. In some cases, this provides an opportunity to organize the process of obtaining the initial information from a new angle. At first, some separate not complicated methods of calculation without any significant modification of existing technological schemes were subjected to automation. Nowadays, with the advent of, new mathematical methods, there is much concern about the creation of automated systems based on modern computers solving the entire complex of problems on a particular topic. In

For citation: Umarov M.M., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu. Digital Elevation Model for Forest Road-Location. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 58–69. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.58

the road design, at the first stage of automation of engineering calculations, the programs are made that serve individual intermediate stages of design, associated with a large amount of calculations and do not require variant analysis (programs for calculating cut and fill volumes, areas of subgrade embankments, flood run off, road speeds, etc.). At the second stage, complex calculations are carried out, that include logical elements and are associated with the processing, analysis of a large number of options and the choice of optimum alternative according to a number of indicators. The goal of research is to develop a methodology for determining the optimal variant of the forest road route using a terrain spatial model.

Keywords: forest road, road-location, longitudinal profile, digital elevation model.

REFERENCES

1. SNiP 11-02-96. Inrhenernye izyskaniya dlya stroitel'stva. Osnovnye polozheniya [Construction Norms and Regulations 11-02-96. Engineering Survey for Construction. Basic Principles]. Moscow, Gosstroy Rossii Publ., 2000. 45 p.
2. Kur'yanov V.K. Teoreticheskie osnovy i formalizatsiya zadach upravleniya kachestvom dorozhnykh pokrytiy na osnove optimizatsii remontnykh rabot [Theoretical Foundations and Formalization of Problems of Quality Management of Road Surfaces on the Basis of Repair Works Optimization]. *Problemy i perspektivy lesnogo kompleksa: materialy mezhvuz. nauch.-prakt. konf., Voronezh, 26–27 maya 2005 g.* [Problems and Perspectives of the Forest Complex: Proc. Interuniversity Sci. Practic. Conf., Voronezh, May 26–27, 2005]. Voronezh, 2005, vol. 1. 264 p. (In Russ.)
3. Skrypnikov A.V. Teoreticheskie osnovy i metody organizatsii i upravleniya dorozhnym dvizheniem [Theoretical Bases and Methods of Organization of Traffic Control on Roads]. *Byulleten' transportnoy informatsii* [Bulletin of Transport Information], 2010, no. 1(175), pp. 10–15.
4. Skrypnikov A.V. *Metody, modeli i algoritmy povysheniya transportno-ekspluatatsionnykh kachestv lesnykh avtomobil'nykh dorog v protsesse proektirovaniya, stroitel'stva i ekspluatatsii* [Methods, Models and Algorithms for Increasing Transport-Operational Qualities of Forest Roads in the Process of Design, Construction and Operation]. Moscow, FLINTA Publ., 2012. 310 p. (In Russ.)
5. Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Skvortsova T.V. Optimizatsiya mezhremontnykh srokov lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Optimization of Maintenance Period for Logging Highway]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental Research], 2011, no. 8-3, pp. 667–671.
6. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Arutyunyan A.Yu., Chernyshova E.V. Analiz metodov otsenki nadezhnosti slozhnykh tekhnicheskikh kompleksov [Analysis of Methods for Assessing the Reliability of Complex Technical Complexes]. *Sb. tr. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. «Sistemnyy analiz i modelirovanie protsessov upravleniya kachestvom v innovatsionnom razvitii agropromyshlennogo kompleksa», Voronezh, 08–09 apr. 2015* [Collected Papers Intern. Sci. Practic. Conf. “System Analysis and Modeling of Quality Management Processes in the Innovative Development of the Agro-Industrial Complex”, Voronezh, 08–09 April 2015]. Voronezh, VSUET Publ., 2015, pp. 76–81. (In Russ.)
7. Skrypnikov A.V., Umarov M.M., Chernyshova E.V. Rol' sostoyaniya lesovoznykh avtomobil'nykh dorog v obespechenii udobstva i bezopasnosti dvizheniya v neblagopriyatnye periody goda [The Role of the State of Logging Roads to Ensure Comfort and Driving Safety in Adverse Seasons]. *Aktual'nye voprosy nauki, tekhnologii i proizvodstva* [Actual Problems of Science, Technology and Production], 2015, no. 2(6), pp. 66–68.
8. Chertov E.D., Skrypnikov A.V., Budanov A.V., Kotov G.I. Matematicheskie metody modelirovaniya poiska printsipov deystviya tekhnicheskikh sistem [Mathematical

Methods of Modeling Research of the Principles of Technical Systems]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* [Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies], 2016, no. 3(69), pp. 110–115.

9. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Analysis of Security Identity and Access Management Systems. *International Journal of Control Theory and Applications*, 2016, no. 9(1), pp. 0974–5572.

10. Ptitsyn P.S., Radko D.V., Skrypnikov A.V. Development of the Method for Integration of Mobile Applications and Corporate Information Systems. *Journal of Digital Information Management*, 2016, no. 14(5), pp. 322–332.

11. Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Kozlov V.G., Chernyshova E.V. Mathematical Model of Statistical Identification of Car Transport Informational Provision. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2017, vol. 12, iss. 2, pp. 511–515.

Received on September 29, 2017

УДК 625.7/8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.70

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПАВОДКОВЫХ ВОД НА РАЗРУШЕНИЕ ОТКОСОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА

Ю.А. Макарова, асп.

А.Ю. Мануковский, д-р техн. наук, проф.

Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, ул. Тимирязева, д. 8, г. Воронеж, Россия, 394087; e-mail: juliamja@mail.ru, mayu1964@mail.ru

Лесовозные автомобильные дороги можно назвать одним из наиболее важных элементов лесопромышленного комплекса, так как основная часть заготавливаемой древесины перевозится автомобильным транспортом. В современных условиях для обеспечения эффективной работы лесозаготовительных предприятий необходимо выполнять требуемый объем строительства лесовозных автомобильных дорог, что осложняется рядом причин. Ключевой проблемой является разрушение дорожного полотна и откосов при воздействии на них неблагоприятных природно-климатических факторов. В перспективных регионах, богатых лесными ресурсами, эта проблема выражается в основном в частом возникновении паводков и селей, что негативно сказывается на прочностных характеристиках автомобильных дорог. Поэтому проектирование и строительство новых путей перевозок лесоматериалов в условиях переувлажненной среды требует повышенной надежности проектных решений и применения новых альтернативных способов защиты земляного полотна. Известные способы и средства его укрепления в виде различных защитных покрытий при высоте насыпи менее 1,5 м в условиях паводков не эффективны. Поток воды наносит ущерб откосам земляного полотна уже при скорости 0,8 м/с, что было доказано средствами математического моделирования в среде FlowVision. Перед нами стояла цель – разработать методику расчета реакции откоса земляного полотна на поток жидкости. В условиях подтопления одной из основных причин, по которой возникают деформации поверхности защитных конструкций откосов, является гидродинамическая сила сопротивления движению, возрастающая со скоростью водного потока. Определение данного параметра для автомобильных дорог в регионах с частыми паводками позволяет учесть и максимально уменьшить разрушение автомобильных дорог и подобрать более эффективную конструкцию защиты откосов земляного полотна.

Ключевые слова: переувлажнение, разрушение автомобильных дорог, паводок, откос земляного полотна, водный поток, гидродинамическое сопротивление, уравнение.

Введение

Одним из наиболее важных элементов лесопромышленного комплекса являются лесовозные автомобильные дороги, которые можно назвать связующим звеном между осваиваемым лесным массивом и лесоперерабатывающим предприятием.

Основная часть заготавливаемой древесины перевозится автомобильным транспортом, что с учетом его высокой проходимости позволяет доставлять лесоматериалы из труднодоступных мест. В современных условиях для

Для цитирования: Макарова Ю.А., Мануковский А.Ю. Исследование воздействия паводковых вод на разрушение откосов земляного полотна // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 70–76. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.70

обеспечения эффективной работы лесозаготовительных компаний необходимо выполнять требуемые объемы строительства лесовозных автомобильных дорог. Поэтому развитие транспортной инфраструктуры при освоении новых лесозаготовительных регионов приобретает решающее значение. Строительство автомобильных дорог высокого качества для данной отрасли осложняется рядом причин, главной из которых является разрушение дорожного полотна и откосов при воздействии на них неблагоприятных природно-климатических факторов. В большинстве регионов, богатых лесными ресурсами, вывозка лесоматериалов осложняется в основном частым возникновением паводков и селей. Вода, негативно воздействуя на дорожное полотно и откосы, приводит к преждевременному старению и разрушению дороги.

Строительство лесовозных автомобильных дорог в условиях переувлажненной среды требует повышения надежности проектных решений и прочностных характеристик земляного полотна. Применение новых усовершенствованных способов защиты земляного полотна от воздействия на него неблагоприятных природно-климатических факторов позволяет увеличить срок службы автомобильной дороги и снизить материальные затраты на ее ремонт [2, 8].

Для повышения устойчивости земляного полотна при разработке альтернативных способов защиты автомобильных дорог необходимо изучить воздействие паводковых вод на откосы насыпи земляного полотна. Перед нами стояла цель – разработать методику для расчета реакции откоса насыпи земляного полотна на поток жидкости.

Объекты и методы исследования

Природно-климатические факторы по сравнению с антропогенными оказывают более сильное влияние на прочность автомобильных дорог. Наводнения, паводки, повышение уровня грунтовых вод, возникающие в результате сильных осадков, приводят к разрушению не только транспортной инфраструктуры, но и в целом других отраслей.

Наводнения на р. Амур в Хабаровском крае являются ярким примером негативного воздействия природно-климатических факторов на все сферы человеческой деятельности. Из-за особенностей климата данного региона формирование паводков и наводнений сказывается на всем течении Амура. Например, осенью 2012 г. количество осадков в бассейне реки увеличилось в 1,5–2,0 раза, что привело к переувлажнению ее водосборной площади (рис. 1).

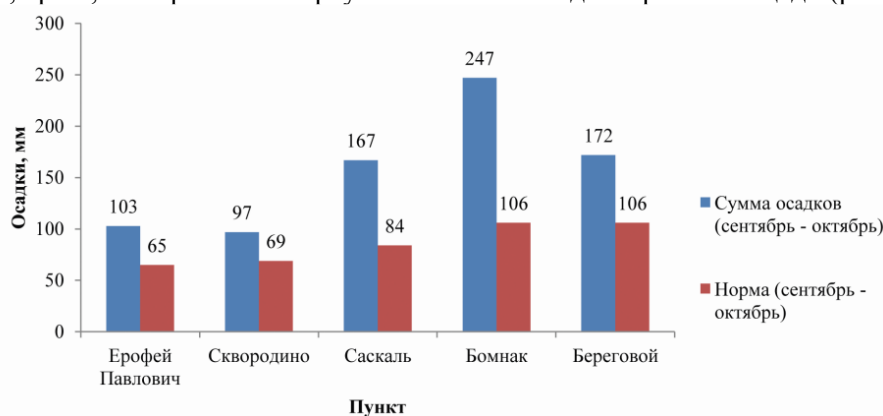


Рис. 1. Количество осадков в районе р. Верхний Амур (осень 2012 г.)

Весной 2013 г. данный фактор, а также осадки, превышающие норму в 1,5 раза, привели к значительным разрушениям [4]: повреждено около 1500 км дорог, прямой экономический ущерб составил около 88 млрд р.

В условиях переувлажненной среды откосы земляного полотна автомобильной дороги подвергаются негативному воздействию водного потока, что приводит к преждевременному разрушению защитных конструкций и снижению устойчивости насыпи. Известные способы и средства укрепления земляного полотна в виде различных защитных покрытий при высоте насыпи менее 1,5 м в условиях паводков не эффективны. Начиная со скорости 0,8 м/с, поток жидкости уже повреждает земляное полотно, что было доказано посредством математического моделирования в среде FlowVision [3]. Сильнее страдают автомобильные дороги при воздействии на них паводков, имеющих скорость потока более 1,5 м/с. Это приводит к необратимым деформациям конструкций защиты откосов [1].

Для повышения прочностных характеристик земляного полотна автомобильной дороги в условиях переувлажненной среды (при подтоплении) был разработан способ защиты откосов земляного полотна (рис. 2).

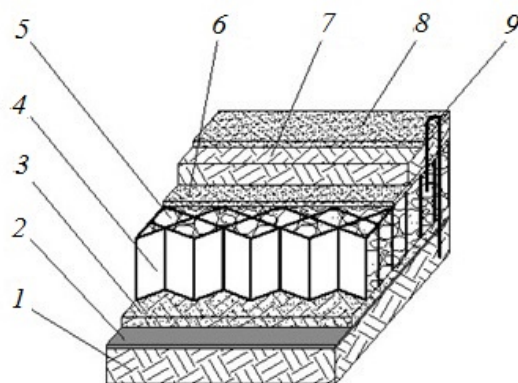


Рис. 2. Фрагмент конструкции укрепления земляного полотна: 1 – поверхность откоса; 2 – геотекстильный материал; 3 – слой гидрофобной полимерно-грунтовой смеси; 4 – геосотовый геосинтетический материал; 5 – песчано-гравийная смесь; 6 – полимерная пропитка; 7 – слой грунта; 8 – жидкий полимер; 9 – анкеры

Особенностью данной конструкции защиты откосов земляного полотна является наличие двух водонепроницаемых слоев, способных при определенной скорости потока, воздействующего на поверхность откоса, выдерживать давление воды и оказывать сопротивление вымыванию грунта [7, 9, 10].

В процессе эксплуатации автомобильной дороги в сложных природно-климатических условиях на откосы земляного полотна оказывает воздействие множество факторов. В условиях подтоплений одной из основных причин, в результате которой возникают деформации поверхности защитных конструкций откосов земляного полотна, служит возрастающая со скоростью водного потока гидродинамическая сила сопротивления движению.

Результаты исследования и их обсуждение

Рассмотрим стадию воздействия текущей жидкости на поверхность откосов земляного полотна автомобильной дороги при $h \leq 2,5H_{п}$ (где h – высота насыпи; $H_{п}$ – толщина потока).

Примем допущение, что скорость потока воды постоянна при изменении площади контакта поверхности откоса с потоком. В качестве базового

используем уравнение для определения гидродинамического сопротивления поверхности откоса потоку жидкости [5, 6]:

$$R = k \int \frac{\rho V_{\Pi}^2}{2} S_{\text{общ}} dS, \quad (1)$$

где k – коэффициент вязкости водного потока;

ρ – плотность потока, кг/м³;

V_{Π} – скорость движения потока, м/с;

$S_{\text{общ}}$ – общая площадь контакта поверхности откоса и водного потока, м².

С учетом неоднородности водного потока при паводках и селях примем коэффициент вязкости по таблице.

Изменение коэффициента вязкости

Поток жидкости	Коэффициент вязкости
Чистая вода	1,5...2,0
Грязеводная смесь	8,0...15,0
Поток с твердой каменной фракцией размером до 2 см	25,0...48,0

Исходя из условия, что площадь контакта поверхности откоса с потоком текучей жидкости изменяется с течением времени (рис. 3), запишем формулу для определения гидродинамического сопротивления поверхности откоса потоку жидкости:

$$R = k \int \frac{\rho V_{\Pi}^2}{2} S_{\text{общ}} \cos \beta dS, \quad (2)$$

где β – угол поверхности откоса по отношению к водному потоку, численно равный углу между откосом и прилегающей поверхностью земли, ...°.

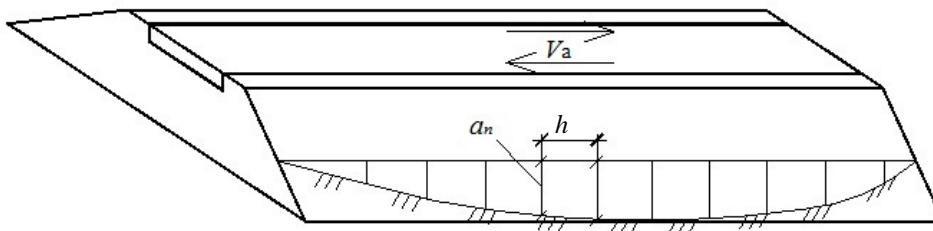


Рис. 3. Площадь контакта поверхности откоса и водного потока: V_a – направление движения автопоездов; h – расстояние измерения; a_n – глубина измерения

Общую площадь контакта поверхности откоса и водного потока можно представить как сумму площадей контакта поверхности откоса и водного потока:

$$S_{\text{общ}} = \sum S_{\text{тр}} + 2S_{\text{т}}, \quad (3)$$

где $S_{\text{тр}}$ – основная площадь контакта, м²;

$S_{\text{т}}$ – площадь контакта в пограничной зоне, м².

Запишем выражение (3) в развернутом виде:

$$S_{\text{общ}} = \frac{1}{2} h [(a_1 + a_2) + (a_2 + a_3) + \dots + (a_n + a_{n+1}) + (a_1 + a_0)], \quad (4)$$

где h , a_n – расстояние и глубина измерения, м;
 n – количество измерений.

В общем виде давление на откос насыпи, создаваемое водным потоком на поверхность откоса земляного полотна, определяет зависимость вида

$$R = f(k, V_{\text{п}}, n, h, a, b, \beta). \quad (5)$$

Подставим (4) в (2):

$$R = k \frac{\rho V_{\text{п}}^2}{4} h [(a_1 + a_2) + (a_2 + a_3) + \dots + (a_n + a_{n+1}) + (a_1 + a_0)] \cos \beta. \quad (6)$$

Методика определения гидродинамического сопротивления поверхности откоса потоку жидкости позволяет найти общее тормозное усилие при движении жидкости при $h \leq 2,5H_{\text{п}}$ с учетом изменения площади контакта поверхности откоса и водного потока.

Заключение

Определение параметра тормозного усилия для автомобильных дорог в регионах с частым возникновением паводков и селей позволяет учесть и максимально снизить разрушение путей перевозок лесоматериалов, а также при проектировании подобрать более эффективную конструкцию защиты земляного полотна от вымывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Автомобильные дороги. Защита откосов автомобильных дорог от размыва: обзор. информ. М.: Росавтодор, 1992. 84 с.
2. *Евгеньев И.Е., Казарновский В.Д.* Земляное полотно автомобильных дорог на слабых грунтах. М.: Транспорт, 1976. 270 с.
3. *Макарова Ю.А., Мануковский А.Ю.* Моделирование воздействия паводков и селей на земляное полотно лесовозной автомобильной дороги // Материалы Всерос. студ. конф. «Инженерные кадры – будущее инновационной экономики России», Йошкар-Ола, 23–28 ноября 2015 г. Ч. 5. Инновации в строительстве, природообустройстве и техноферной безопасности. Йошкар-Ола: Поволж. гос. технол. ун-т, 2015. С. 115–117.
4. Наводнение-2013 / редкол.: А.С. Гаркин, И.Ю. Кореньюк, С.А. Казачинская, фил. ОАО «РусГидро». Талакан, 2014. 144 с.
5. *Першин М.Н., Кулижников А.М., Радов В.П.* Дорожное грунтоведение: СПб.: СПбГАСУ, 1998. 153 с.
6. *Савельев В.В.* Мелиорация лесосплавных путей и гидротехнические сооружения: М.: Лесн. пром-сть, 1982. 280 с.
7. *Сушков С.И., Сергеев А.С.* Алгоритм образования трещин на покрытии лесовозных дорог, устраиваемых на склоне, в основании которых залегает глинистый грунт // Лесотехн. журн. 2017. № 1(25). С. 118–126.
8. *Vednarouk S., Ovcharov E.* Flood Prevention and Protection in Russian // United Nation. Seminar on Flood Prevention and Protection. Berlin, 7–8 October 1999. Berlin, 1999. No. 37. Pp. 1–4.

9. Kief O., Schar Y., Pokharel S.K. High-Modulus Geocells for Sustainable Highway Infrastructure // Indian Geotechnical Journal. 2015. Vol. 45, iss. 4. Pp. 389–400.

10. Meyer N. Determination of the Bearing Capacity of Geocell Reinforced Soil over Soft Subgrade with Static and Dynamic Plate Load Tests. Clausthal-Zellerfeld, Germany: Institute of Geotechnical Engineering and Mine Surveying, TU Clausthal, 2007.

Поступила 15.12.17

UDC 625.7/.8

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.70

The Effect of Floodwater on Slope Disturbance

Yu.A. Makarova, Postgraduate Student

A.Yu. Manukovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, ul. Timiryazeva, 8, Voronezh, 394087, Russian Federation; e-mail: juliamja@mail.ru, mayu1964@mail.ru

Truck haul roads can be considered as one of the most important element of the timber industry complex, since the bulk of harvested wood is transported by road. To ensure the effective operation of logging enterprises under modern conditions, the specialists should entirely construct truck haul roads, which is complicated by a number of reasons. The key problem is slope disturbance under the influence of unfavorable natural environment and climatic factors. In perspective regions rich in forest resources, this problem is expressed mainly in frequent floods and mudflows, which negatively affects the strength characteristics of forestry roads. Therefore, the design and construction of new ways of timber transporting in a waterlogged environment requires increased reliability of project structures and new alternative roadbed safety methods. Known methods and means for roadbed reinforcing in the form of various protective coatings at the fill depth of less than 1.5 m in flood conditions are not effective. The water flow damages the slopes at a speed of 0.8 m/s, which is proved by the mathematical modeling in the FlowVision environment. The goal of research is to develop a methodology for calculating the reaction of a slope to the liquid flow. The hydrodynamic drag force is one of the main reasons for the deformation of the surface of the slope protective structures under the waterlogging conditions. It increases with a speed of the water flow. The definition of this parameter for motor roads in regions with frequent floods allows taking into account, minimizing the degree of road havoc and selecting a more effective design of slope protection.

Keywords: waterlogging, road havoc, flood, slope, water flow, hydrodynamic resistance, equation.

REFERENCES

1. *Avtomobil'nye dorogi. Zashchita otkosov avtomobil'nykh dorog ot razmyva* [Highways. Protection of Road Slopes from Erosion]. Moscow, Rosavtodor Publ., 1992. 84 p. (In Russ.)

2. Evgen'ev I.E., Kazarnovskiy V.D. *Zemlyanoe polотно avtomobil'nykh dorog na slabykh gruntakh* [Earth Roadbed on Soft Grounds]. Moscow, Transport Publ., 1976. 270 p. (In Russ.)

For citation: Makarova Yu.A., Manukovskiy A.Yu. The Effect of Floodwater on Slope Disturbance. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 70–76. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.70

3. Makarova Yu.A., Manukovskiy A.Yu. Modelirovanie vozdeystviya pavodkov i seley na zemlyanoe polotno lesovoznoy avtomobil'noy dorogi [Flood and Mudflow Modeling on the Roadbed of the Forest Road]. *Materialy Vserossiyskoy studencheskoy konf. «Inzhenernye kadry – budushchee innovatsionnoy ekonomiki Rossii»*, Yoshkar-Ola, 23–28 noyabrya 2015 g. Ch. 5. *Innovatsii v stroitel'stve, prirodoobustroytve i tekhnosfernoy bezopasnosti* [Proc. All-Russ. Student Conf. "Engineering Specialists – the Future of the Innovative Economy of Russia", Yoshkar-Ola, November 23–28, 2015. Part 5. Innovations in Construction, Environmental Engineering and Technosphere Safety]. Yoshkar-Ola, VSUT Publ., 2015, pp. 115–117. (In Russ.)
4. Garkin A.S., Korenyuk I.Yu., Kazachinskaya S.A., eds. *Navodnenie-2013* [Flood-2013]. Talakan, 2014. 144 p. (In Russ.)
5. Pershin M.N., Kulizhnikov A.M., Radov V.P. *Dorozhnoe gruntovedenie* [Road Soil Science]. Saint Petersburg, SPbSUACE Publ., 1998. 153 p. (In Russ.)
6. Savel'ev V.V. *Melioratsiya lesosplavnykh putey i gidrotekhnicheskie sooruzheniya* [Floating Route Melioration and Hydraulic Structures]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 280 p. (In Russ.)
7. Sushkov S.I., Sergeev A.S. Algoritm obrazovaniya treshchin na pokrytii lesovoznykh dorog, ustraivaemykh na sklone, v osnovanii kotorykh zalegaet glinistyiy grunt [The Algorithm of Formation of Cracks on the Logging Roads Surface Arranged on the Slope, Overlain by Clayey Soil at the Base]. *Lesotekhnicheskiiy zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2017, vol. 7, no. 1(25), pp. 118–126.
8. Bednarouk S., Ovcharov E. Flood Prevention and Protection in Russia. *United Nation. Seminar on Flood Prevention and Protection. Berlin, 7–8 October 1999*. Berlin, 1999, no. 37, pp. 1–4.
9. Kief O., Schar Y., Pokharel S.K. High-Modulus Geocells for Sustainable Highway Infrastructure. *Indian Geotechnical Journal*, 2015, vol. 45, iss. 4, pp. 389–400.
10. Meyer N. *Determination of the Bearing Capacity of Geocell Reinforced Soil over Soft Subgrade with Static and Dynamic Plate Load Tests*. Clausthal-Zellerfeld, Germany, Institute of Geotechnical Engineering and Mine Surveying, TU Clausthal, 2007.

Received on December 15, 2017

УДК 634.0.378.33

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.77

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МЕТОДОВ СПЛОТКИ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

П.Н. Перфильев, канд. техн. наук

Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 630021; e-mail: p.perfilev@narfu.ru

В Российской Федерации, по оценке Организации Объединенных Наций, покрытая лесом площадь составляет 8,5 млн км². Благодаря имеющимся запасам лесных ресурсов значительное развитие получили предприятия лесопромышленного комплекса. В условиях современной конкурентной экономики лесопромышленные предприятия в целях дальнейшего развития вынуждены поддерживать инвестиционную активность на высоком уровне, оптимизировать технологические процессы и модернизировать производственное оборудование. В статье проанализированы инвестиционные проекты крупнейших предприятий лесной промышленности Архангельской области (АО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат», ЗАО «Лесозавод 25»), рассмотрены факторы снижения себестоимости сырья для перерабатывающих предприятий лесного комплекса, приведены сравнение видов транспортировки круглых лесоматериалов, динамика поставок лесоматериалов на примере предприятий Архангельской области. В настоящее время расчетная лесосека в области составляет чуть более 20 млн м³, объемы лесозаготовок – половину от нее. Основной причиной этого является недостаточная развитость дорожной сети для вывозки заготовленной древесины, поэтому выделяемый лесосечный фонд расположен географически неравномерно и тяготеет к местам, где имеются лесовозные дороги. Дорожную сеть необходимо расширять, но в современных экономических условиях сделать это крайне сложно. Предлагается развивать транспортировку лесоматериалов по естественным транспортным артериям – рекам. Наиболее экономически целесообразен сплав в лесотранспортных единицах. Отмечается, что для лесосплава практически не используются малые и средние реки ввиду малых габаритов лесосплавного хода. Для того, чтобы включить их в логистику транспортными процессами необходимо модернизировать существующие технологии сплотки круглых лесоматериалов. Нами проанализированы современные разработки конструкций сплоточных единиц, пригодных для сплава в условиях ограниченных габаритов лесосплавного хода, рассмотрены основные научные разработки для определения гидродинамических и инерционных характеристик сплоточных и лесотранспортных единиц, приведены результаты математического планирования и классического исследования гидродинамических характеристик линеек из плоских сплоточных единиц.

Ключевые слова: инвестиции, плотовой лесосплав, осадка лесосплавной единицы, плоская сплоточная единица, эксперимент, гидродинамическое сопротивление, коэффициент сопротивления, технология сплава.

Введение

Российская Федерация обладает достаточными запасами лесных ресурсов (лесной фонд занимает около 45 % площади страны). В связи с этим

Для цитирования: Перфильев П.Н. Исследование оптимальных методов сплотки круглых лесоматериалов // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 77–87. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.77

на ее территории сформировался мощный лесопромышленный комплекс. Наиболее важна его роль в экономике Европейского Севера, Сибири и Дальнего Востока.

Увеличение показателей прибыли предприятий лесной отрасли в последние годы стало возможным в основном благодаря повышению цен на лесопroduкцию на внутреннем рынке и снижению курса рубля по отношению к основным мировым валютам, что послужило импульсом к их дальнейшему инновационному развитию. Начиная с 2013–2014 гг. заметно возросла инвестиционная активность, особенно в целлюлозно-бумажном производстве. Для примера на рис. 1 представлен рост инвестиций в модернизацию основного технологического оборудования АО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат» (АЦБК) в 2007–2014 гг.

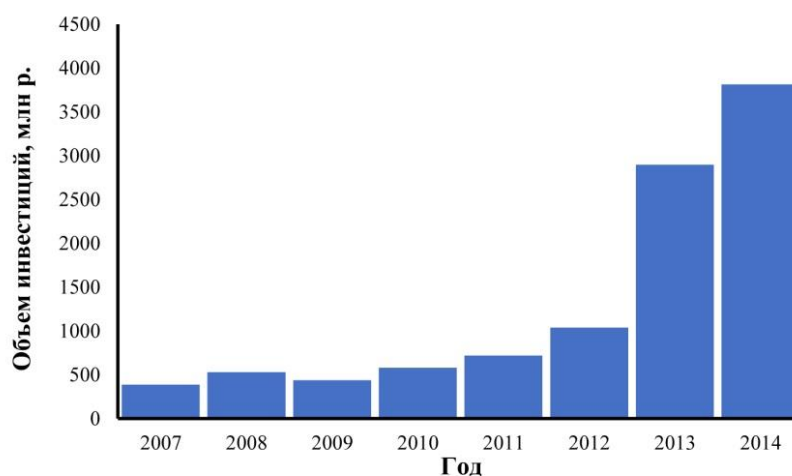


Рис. 1. Динамика объемов капитальных вложений в модернизацию технологического оборудования на АО «Архангельский ЦБК» (2007–2014 гг.)

Перечислим основные крупные инвестиционные проекты предприятий Архангельской области. На АЦБК построен цех полуцеллюлозы, оснащенный современным оборудованием, введен в эксплуатацию многотопливный котел высокого давления для сжигания древесных отходов и осадков сточных вод [11]. В 2015 г. ЗАО «Лесозавод 25» проинвестировал проект модернизации производственной площадки ОАО «Архангельский ЛДК-3», где идет строительство сортировочной линии, нового цеха по распиловке пиловочного сырья, котельной на кородревесных отходах, а также всех необходимых коммуникаций, организуются площадки хранения сырья и готовой продукции. В дальнейшем будут смонтированы 17 сушильных камер, цеха сортировки, торцовки и пакетирования пиломатериалов. После осуществления этих мероприятий к 2018 г. будет сформирован высокопроизводительный современный лесопильно-деревообрабатывающий комплекс.

Инвестиции позволяют сохранять конкурентоспособность продукции лесопромышленных предприятий в современной динамично развивающейся мировой экономике, повышают эффективность их экономической и производственной деятельности, снижая себестоимость продукции и расширяя рынок. Результатами инновационной деятельности являются новые техноло-

гии, дополнительные виды продукции с улучшенными качествами, наукоемкие товары со значительной долей добавленной стоимости. Успешная инновационная деятельность создает новые высокотехнологичные рабочие места, повышает уровень оплаты труда, т. е. решает некоторые социальные вопросы [12].

В современных реалиях для лесопромышленных предприятий крайне важным является снижение себестоимости древесного сырья. Для обеспечения этого необходимо оптимизировать технологические процессы на предприятиях, в том числе и все логистические операции. Проблема оптимизации вывозки первичного сырья из лесосек на переработку – экономически важная составляющая этого процесса [23, 24].

В настоящее время лесозаготовительные предприятия перевозят круглые лесоматериалы до заводов-переработчиков сухопутным и водным транспортом. У сухопутных видов транспортировки имеются неоспоримые преимущества перед водными: высокая коммерческая скорость и доставка «от двери до двери». Лесоматериалы водой транспортируют только в течение навигационного периода, что приводит к созданию в межнавигационный период крупных запасов лесоматериалов, для чего требуются оборудованные склады. Кроме того, по скорости доставки груза водный транспорт уступает всем видам сухопутного транспорта [1, 10]. Однако транспортировка круглых лесоматериалов по воде имеет и положительные стороны. Древесина, находясь в воде на плотостоянке рейда лесоперерабатывающего предприятия, лучше сохраняет свои качества (надежно защищена от размножения насекомых и грибов) [1, 3]. Мощность, требуемая для перемещения одинакового по массе груза по воде, вследствие использования движущей силы течения в 60–80 раз меньше, чем по железнодорожному пути, и в несколько сотен раз меньше, чем по автомобильным дорогам [10]. При этом содержание в надлежащем состоянии водных транспортных артерий по сравнению с сухопутными экономически более целесообразно.

В настоящее время доля водного транспорта при перевозке круглых лесоматериалов на дальние расстояния неуклонно растет за счет меньшей себестоимости транспортировки. Для примера на рис. 2 приведено изменение объемов поступления круглых лесоматериалов в плотках на ЗАО «Лесозавод 25» в 2013–2017 гг.

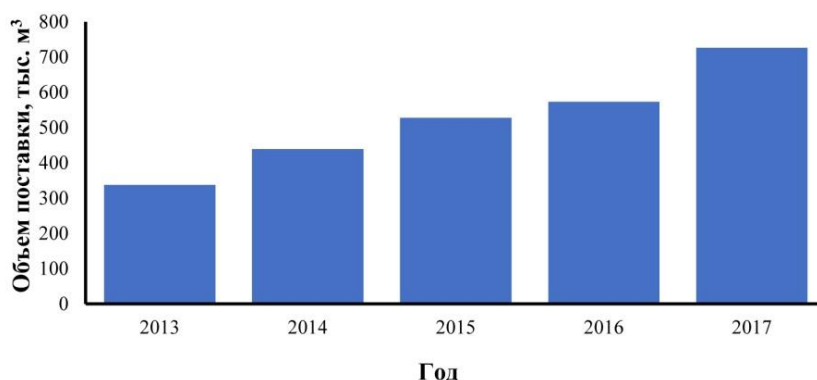


Рис. 2. Динамика объемов поставки круглых лесоматериалов плотковым лесосплавом на ЗАО «Лесозавод 25» (2013–2017 гг.)

В районах со слаборазвитой сетью железных и автомобильных дорог водный транспорт является единственным видом транспортировки лесоматериалов к потребителю. Для некоторых предприятий лесной промышленности альтернативы водной транспортировке сырья практически нет. В качестве примера на рис. 3 представлен график поставки сырья различными видами транспорта на АЦБК в 2009–2015 гг., который иллюстрирует доминирование поставок водными видами транспорта.

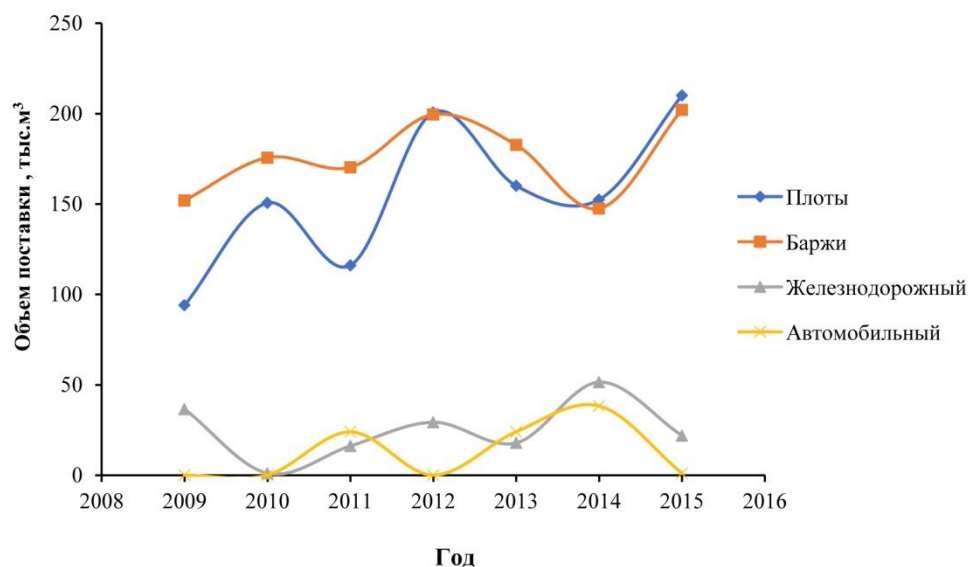


Рис. 3. Динамика объемов поставки круглых лесоматериалов на АО «Архангельский ЦБК» (2009–2015 гг.)

В настоящее время водная транспортировка круглых лесоматериалов осуществляется с помощью плотового лесосплава и баржами. При плотовом лесосплаве в большинстве случаев используются пучковые плоты. Пучок имеет ряд преимуществ над другими типами сплоченных единиц, главным из которых является простота изготовления. Такая сплоченная единица используется уже длительное время, поэтому для нее разработаны и опробованы все основные технологии сплотки, транспортировки и дальнейшей размолвки. Однако из-за относительно большой осадки пучковый плот нельзя использовать на реках с ограниченными глубинами, а это практически все малые и большая часть средних рек. В Архангельской области для плотового лесосплава используется в основном только р. Северная Двина ввиду ограниченности габаритов лесосплавного хода. Лесосеки, находящиеся рядом с такими малыми и средними реками, отрезаны от транспортировки круглых лесоматериалов по воде. Значительный вклад в данное направление исследований внесли такие ученые, как А.А. Митрофанов, В.Я. Харитонов, С.В. Посыпанов, Г.Я. Суров, В.И. Памякин, А.А. Камусин, А.Н. Минаев, П.Ф. Войтко и др.

Сплав древесины по малым и средним рекам позволит освоить новые покрытые лесом площади, что даст импульс дальнейшему развитию предприятий лесной промышленности.

Объекты и методы исследования

В настоящее время силами лесопромышленных предприятий и высших учебных заведений РФ проводятся разработки современных и наиболее оптимальных форм плоточных единиц, проходит их апробация [5, 7–9, 13, 17, 19].

Некоторые виды плоточных единиц, альтернативных пучку, приведены на рис. 4.

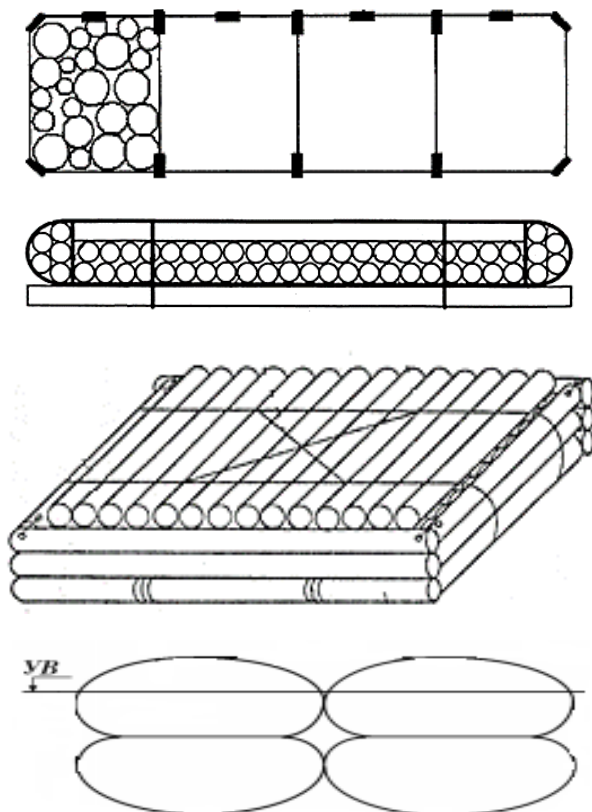


Рис. 4. Виды плоточных единиц (УВ – уровень воды)

Такие плоточные единицы имеют некоторые преимущества перед пучком: малая осадка, большая полндревесность, возможность сплава древесины с низкой плавучестью. Но есть и недостатки – сложность изготовления, больший расход такелажа.

Цель данной работы – исследование гидродинамических характеристик линеек из плоских плоточных единиц (ПСЕ), знание которых позволит эффективнее выполнять технологические и транспортные расчеты сплава лесотранспортных единиц на базе ПСЕ, выбирать средства буксировки, перестановки и торможения, конструкции плотостоянок и их крепления.

Конструкции ПСЕ показаны на рис. 4 и более подробно рассмотрены в работах [5, 13], общий вид плота, сформированного из ПСЕ, представлен на рис. 5.



Рис. 5. Плот из плоских сплотовых единиц

Исследованиям гидродинамических характеристик тел, движущихся в воде, посвящено большое количество работ, в том числе работы по определению сопротивления воды движению бревен [20], пучковых плотов [5, 18, 21, 22], хлыстовых пучков [15, 16], кошелей [2, 10] и судов [4, 6].

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальные исследования по изучению характеристик линеек из ПСЕ были выполнены в бассейне кафедры технологии лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова.

Перед началом основных экспериментов проведено математическое планирование экспериментов и проанализировано влияние следующих факторов на гидродинамическое сопротивление воды движению модели линейки из ПСЕ: габаритные размеры L (длина), B (ширина) и T (осадка), см; интервал c' между ПСЕ, м; скорость движения модели v , м/с.

Для определения гидродинамического сопротивления использовали следующую зависимость:

$$R = rv^2,$$

где r – приведенное сопротивление воды движению модели линейки, $\text{Н}\cdot\text{с}^2/\text{м}^2$ [14].

В этой формуле величина R при постоянной скорости является для каждой модели функцией r . Поэтому за выходной параметр в уравнении регрессии $r = f(L, B, T, c')$ был принят r , за входные управляющие факторы – x_1 (длина модели); x_2 (ширина модели); x_3 (осадка модели); x_4 (интервал между ПСЕ).

Уравнение регрессии в нормализованных обозначениях после проведения полнофакторного эксперимента, обработки полученных данных, расчета коэффициентов регрессии и проверки их на значимость:

$$r = 5,6275 + 1,3188x_1 + 0,9688x_2 + 2,6425x_3 + 0,4763x_4 + 0,1975x_1x_2 + \\ + 0,3988x_1x_3 + 0,4225x_1x_4 + 0,7088x_2x_3 + 0,1563x_3x_4 + 0,1613x_1x_2x_4.$$

При пересчете уравнения регрессии в натуральные обозначения зависимость приняла следующий вид:

$$r = 1,6970 + 0,1171L - 2,5546B - 98,8984T + 2,0444c' + 0,7426LB + 19,4774LT - \\ - 0,9531Lc' + 675,0476BT - 10,7533Bc' + 14,8857Tc' + 6,6174Lbc'.$$

На основании математического планирования эксперимента можно сделать вывод о достаточном влиянии всех факторов на гидродинамическое сопротивление воды.

Далее эксперименты были проведены по классической методике (всего поставлено 3000 опытов и исследовано 120 моделей).

Гидродинамическое сопротивление воды равномерному движению тел на поверхности жидкости определяли по формуле Ньютона [5, 21]:

$$R = \frac{1}{2} c \rho \Omega v^2,$$

где c – общий безразмерный коэффициент сопротивления движению;

ρ – плотность воды, кг/м³;

Ω – характерная площадь, м².

Полное сопротивление складывается из двух составляющих – сопротивлений трения и формы:

$$R = R_{\text{тр}} + R_{\text{ф}}.$$

После обработки экспериментальных данных были получены эмпирические зависимости для определения коэффициентов сопротивления формы $c_{\text{ф}}$ и трения $c_{\text{тр}}$:

$$c_{\text{ф}} = 0,641 + 0,032 \frac{L_{\text{л}}}{B_{\text{л}}}; \\ c_{\text{тр}} = 0,008 - 0,0002 \frac{L_{\text{л}}}{B_{\text{л}}},$$

где $L_{\text{л}}$ и $B_{\text{л}}$ – соответственно длина и ширина линейки из ПСЕ, м.

Все зависимости были обработаны статистически с помощью программного обеспечения Statistica 10.

Заключение

В настоящее время объемы заготовки лесоматериалов в нашей стране не оптимальны и могут быть увеличены. Вместе с тем участки, отведенные для рубок, тяготеют в основном к автодорожной сети. Лесосечный фонд в этих местах начинает истощаться. Выходом из сложившейся ситуации является более широкое использование водных путей для транспортировки лесоматериалов. Необходимо продолжить развитие плотового сплава и перевозок лесоматериалов баржами. Однако для плотового лесосплава используются лишь крупные реки, а малые и средние в связи с ограниченностью габаритов сплавного хода практически не применяются для этой цели. Поэтому требуется развивать и внедрять современные технологии сплава, позволяющие исполь-

зовать в транспортно-логистических целях разветвленную речную сеть. Для рек с ограниченными глубинами необходимо подобрать такие схемы, при которых на начальных этапах лесотранспортные единицы могут иметь небольшую осадку, а в дальнейшем, при выходе на крупные реки, они могут быть укрупнены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Будыка С.Х., Манухин Г.А., Пименов А.Н. Водный транспорт леса и механизация лесосплавных работ. Минск: Вышэйш. шк., 1970. 439 с.
2. Водный транспорт леса: справ. / сост.: Е.Н. Гаврилова, А.А. Гоник, И.П. Донской, Г.А. Жуков, М.П. Лазарев, С.И. Нефедов, Я.П. Петров, В.В. Савельев, С.С. Филимонов, Г.Ф. Шульц. М.: Гослесбумиздат, 1963. 561 с.
3. Камусин А.А., Дмитриев Ю.Я., Минаев А.Н., Овчинников М.М., Патыкин В.И., Пименов А.Н., Полищук В.П. Водный транспорт леса. М.: МГУЛ, 2000. 432 с.
4. Костюков А.А. Сопротивление воды движению судов. Л.: Судостроение, 1966. 448 с.
5. Митрофанов А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: моногр. Архангельск: АГТУ, 2007. 492 с.
6. Павленко Г.Е. Сопротивление воды движению судов. М.: Водтранссиздат, 1953. 507 с.
7. Пат. 2166467 Российская Федерация, В 63 В 35/62. Плоская сплottedная единица / Митрофанов А.А. Оpubл. 10.05.01, Бюл. № 13.
8. Пат. 2187442 Российская Федерация, В 63 В 35/62. Плоская сплottedная единица / Митрофанов А.А., Воробьев В.В., Лихачев С.Е., Соконов М.О. Оpubл. 20.08.02, Бюл. № 23.
9. Пат. 2456200 Российская Федерация, В 63 В 35/62. Сплottedная единица / Васильев В.В.. 2012. Режим доступа: <http://www.freepatents/2456200> (дата обращения: 28.08.2017).
10. Патыкин В.И., Дмитриев Ю.Я., Зайцев А.А. Водный транспорт леса. М.: Лесн. пром-сть, 1985. 336 с.
11. Перфильев П.Н. Математические методы планирования экспериментов сплава современных лесотранспортных единиц // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. № 2, ч. 2(13–2). С. 280–284.
12. Перфильев П.Н. Оценка экономической эффективности инновационной деятельности промышленных предприятий // Сб. науч. ст. междунар. молодеж. науч.-практ. конф. «Реальность – сумма информационных технологий», Курск, 08–10 сент. 2016 г. Курск: Юго-Зап. гос. ун-т, 2016. С. 183–185.
13. Перфильев П.Н., Рыбак Г.В. Инвестиционная деятельность предприятия ОАО «Архангельский целлюлозно-бумажный комбинат» // Novainfo. 2016. Т. 1, № 55. С. 279–281.
14. Перфильев П.Н., Штаборов Д.А. Оптимизация технологий лесосплава по малым рекам // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. № 3, ч. 4(8–4). С. 235–239.
15. Подготовка к лесосплаву и транспорт леса в плотках: сб. тр. ЦНИИлесосплава. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 118 с.
16. Подготовка к лесосплаву и транспорт леса в плотках и судах: сб. тр. ЦНИИлесосплава. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 102 с.
17. Посыпанов С.В. Исследование геометрических характеристик плавающей двухъярусной пакетной сплottedной единицы // Изв. СПбЛТА, 2016. Вып. 215. С. 176–191.
18. Рапичук С.Ф. Исследование некоторых вопросов сопротивления воды движению плотов: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Минск, 1973. 31 с.

19. Суров Г.Я., Штаборов Д.А., Перфильев П.Н. Водный транспорт леса: речные плоты. Архангельск: САФУ, 2015. 1 электрон. опт. диск.

20. Фролов В.В. Сопротивление движению бревен под водой // Вопросы лесозаготовок и транспорта леса: сб. науч. тр. Минск: Вышэйш. шк., 1967. С. 132–140.

21. Худогов В.Н. Гидродинамическое взаимодействие плотов и внешней среды. Красноярск: Краснояр. кн. изд-во, 1966. 225 с.

22. Чекалкин К.А. Исследования гидродинамических характеристик бревенных пучков при поступательном движении: тр. АГТУ. Вып. XIX «Лесоэксплуатация». Архангельск, 1967. С. 86–96.

23. Derbin V., Derbin M. Monitoring of Forest Certification on the Example of the Enterprises LLC Solombalales Managing Company // 16th Intern. Multidisciplinary Sci. GeoConf. (SGEM 2016). Albena, Bulgaria, 30 June – 6 July 2016. Albena, Bulgaria, 2016. Book 3, vol. 2, part A. Pp. 571–580. Available at: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article8271>. (дата обращения: 28.08.2017). Doi: 10.5593/sgem2016/b32/s14.046

24. Derbin V., Derbin M. On the Feasibility of Voluntary Forest Certification // 16th Intern. Multidisciplinary Sci. GeoConf. (SGEM 2016). Albena, Bulgaria, 30 June – 6 July 2016. Albena, Bulgaria, 2016. Book 3, vol. 2, part A. Pp. 589–594. Available at: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article8273> (дата обращения: 28.08.2017). Doi: 10.5593/sgem2016/b32/s14.046

Поступила 27.09.17

UDC 634.0.378.33

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.77

Study of Optimal Bundling Methods of Round Timber

P.N. Perfil'ev, Candidate of Engineering Sciences

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163021, Russian Federation; e-mail: p.perfilev@narfu.ru

According to the estimation of the United Nations, the forested area in the Russian Federation is 8.5 million km². Due to the available sufficient reserves of forest resources, the enterprises of the timber industry have been significantly developed. In the conditions of modern competitive economy, the timber industry enterprises for the purpose of their further development are forced to maintain the investment activity at a high level, to optimize technological processes and to modernize the production equipment. The article analyzes the investment projects of the largest enterprises of the forest industry of the Arkhangelsk region (AO “Arkhangelsk pulp and paper mill”, ZAO “Sawmill 25”). The factors of cost reduction of raw materials for processing enterprises of the forest complex, a comparison of the types of transportation of round timber and the dynamics of timber supply on the example of enterprises of the Arkhangelsk region are considered. Currently, the estimated cutting area in the Arkhangelsk region is just over 20 mln m³. The volume of logging is only half of the allowable cut. The main reason is the insufficient development of the road network necessary for the export of harvested wood. This has led to the fact that the allocated timber-cutting fund is geographically uneven and tends to places with timber roads. The road network needs to be expanded that is extremely difficult in modern economic conditions. The author proposes to develop the river timber transportation. The most economically feasible method is the raft of forest transport units. Currently, small and medium-sized rivers are hardly used due to small dimensions of a floating route. In order to integrate them into the logistics of transport processes, it is necessary to modernize the

For citation: Perfil'ev P.N. Study of Optimal Bundling Methods of Round Timber. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 77–87. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.77

existing technologies of round wood bundling. The article analyzes the modern development of structures of float units suitable for rafting in limited dimensions of a floating route, considers the main scientific research results to determine the hydrodynamic and inertial characteristics of rafting and forest transport units, presents the results of mathematical planning and classical study of hydrodynamic characteristics of flat rafts.

Keywords: investment, rafting, rafting sinkage, flat raft, experiment, flow resistance, drag coefficient, floating technology.

REFERENCES

1. Budyka S.Kh., Manukhin G.A., Pimenov A.N. *Vodnyy transport lesa i mekhanizatsiya lesosplavnykh rabot* [Water Log Movement and Mechanization of Logging Operations]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1970. 439 p. (In Russ.)
2. Gavrilova E.N., Gonik A.A., Donskoy I.P., Zhukov G.A., Lazarev M.P., Nefedov S.I., Petrov Ya.P., Savel'ev V.V., Filimonov S.S., Shul'ts G.F., eds. *Vodnyy transport lesa* [Water Log Movement]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1963. 561 p. (In Russ.)
3. Kamusin A.A., Dmitriev Yu.Ya., Minaev A.N., Ovchinnikov M.M., Patyakin V.I., Pimenov A.N., Polishchuk V.P. *Vodnyy transport lesa* [Water Log Movement]. Moscow, MSFU Publ., 2000. 432 p. (In Russ.)
4. Kostyukov A.A. *Soprotivlenie vody dvizheniyu sudov* [Water Resistance]. Leningrad, Sudostroenie Publ., 1966. 448 p. (In Russ.)
5. Mitrofanov A.A. *Lesosplav. Novye tekhnologii, nauchnoe i tekhnicheskoe obespechenie* [Timber Floating. New Technologies, Scientific and Technical Support]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 2007. 492 p. (In Russ.)
6. Pavlenko G.E. *Soprotivlenie vody dvizheniyu sudov* [Water Resistance]. Moscow, Vodtransizdat Publ., 1953. 507 p. (In Russ.)
7. Mitrofanov A.A. *Ploskaya splotochnaya edinitsa* [Flat Raft]. Patent RF, no. 2166467, 2001.
8. Mitrofanov A.A., Vorob'ev V.V., Likhachev S.E., Sokolov M.O. *Ploskaya splotochnaya edinitsa* [Flat Raft]. Patent RF, no. 2187442, 2002.
9. Vasil'ev V.V. *Splotochnaya edinitsa* [Float Unit]. Patent RF, no. 2456200, 2012. Available at: <http://www.freepatent.ru/patents/2456200> (accessed 28.08.2017).
10. Patyakin V.I., Dmitriev Yu.Ya., Zaytsev A.A. *Vodnyy transport lesa* [Water Log Movement]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 336 p. (In Russ.)
11. Perfil'ev P.N. Matematicheskie metody planirovaniya eksperimentov splava sovremennykh lesotransportnykh edinits [Mathematical Planning Methods of Raft Experiments of Modern Timber-Hauling Units]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Research of the 21st Century: Theory and Practice], 2015, no. 2, part 2(13-2), pp. 280–284. (In Russ.)
12. Perfil'ev P.N. Otsenka ekonomicheskoy effektivnosti innovatsionnoy deyatel'nosti promyshlennykh predpriyatiy [Estimation of Economic Efficiency of the Innovative Activity of Industrial Enterprises]. *Sb. nauch. st. mezhdunar. molodezh. nauch.-prakt. konf. «Real'nost' – summa informatsionnykh tekhnologiy», Kursk, 08–10 sent. 2016 g.* [Proc. Intern. Youth Sci. Practical Conf. “Reality is the Sum of Information Technologies”, Kursk, 08–10 September 2016]. Kursk, SWSU Publ., 2016, pp. 183–185. (In Russ.)
13. Perfil'ev P.N., Rybak G.V. Investitsionnaya deyatel'nost' predpriyatiya OAO «Arkhangel'skiy tsellyulozno-bumazhnyy kombinat» [Investment Activity of the Enterprise OAO “Arkhangelsk Pulp and Paper Mill”]. *Novainfo*, 2016, vol. 1, no. 55, pp. 279–281.
14. Perfil'ev P.N., Shtaborov D.A. Optimizatsiya tekhnologiy lesosplava po malym rekam [Optimization of Technologies of Timber Floating on Small Rivers]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual Directions of Scientific Research of the 21st Century: Theory and Practice], 2014, no. 3, part 4(8-4), pp. 235–239.

15. *Podgotovka k lesosplavu i transport lesa v plotakh* [Preparation for Rafting and Transport of Timber Float]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 118 p. (In Russ.)

16. *Podgotovka k lesosplavu i transport lesa v plotakh i sudakh* [Preparation for Rafting and Transport of Timber Float and on the Sea]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 102 p. (In Russ.)

17. Posypanov S.V. Issledovanie geometricheskikh kharakteristik plavayushchey dvukhyarusnoy paketnoy splotochnoy edinitsy [Investigation of the Geometric Characteristics of a Floating Bilevel Packaged Rafting Unit]. *Izvestia Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii (Izvestia SPbLTA)* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2016, no. 215, pp. 176–191.

18. Rapinchuk S.F. *Issledovanie nekotorykh voprosov soprotivleniya vody dvizheniyu plotov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Investigation of Some Issues of Water Resistance to the Rafts Movement: Cand. Eng. Sci. Diss. Abs.]. Minsk, 1973. 31 p.

19. Surov G.Ya., Shtaborov D.A., Perfil'ev P.N. *Vodnyy transport lesa: rechnye ploty* [Water Log Movement: River Rafts]. Arkhangelsk, SAFU Publ., 2015. (In Russ.)

20. Frolov V.V. Soprotivlenie dvizheniyu breven pod vodoy [Resistance to the Movement of Logs under Water]. *Voprosy lesozagotovok i transporta lesa* [Issues of Logging and Log Movement]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1967, pp. 132–140. (In Russ.)

21. Khudonogov V.N. *Gidrodinamicheskoe vzaimodeystvie plotov i vneshney sredy* [Hydrodynamic Interaction of Rafts and the Environment]. Krasnoyarsk, Krasnoyarskoe knizhnoe izdatel'stvo Publ., 1966. 225 p. (In Russ.)

22. Chekalkin K.A. *Issledovaniya gidrodinamicheskikh kharakteristik brevennykh puchkov pri postupatel'nom dvizhenii: tr. AGTU. Vyp. XIX, «Lesoekspluatatsiya»* [Investigations of the Hydrodynamic Characteristics of Log Beams when Translational Motion: Proc. ASTU. Iss. 19, "Forest Exploitation"]. Arkhangelsk, 1967, pp. 86–96. (In Russ.)

23. Derbin V., Derbin M. Monitoring of Forest Certification on the Example of the Enterprises LLC Solombalales Managing Company. *16th Intern. Multidisciplinary Sci. GeoConf. (SGEM 2016). Albena, Bulgaria, 30 June – 6 July 2016*. Albena, Bulgaria, 2016, book 3, vol. 2, part A, pp. 571–580. Available at: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article8271> (accessed 28.08.2017). Doi: 10.5593/sgem2016/b32/s14.046

24. Derbin V., Derbin M. On the Feasibility of Voluntary Forest Certification. *16th Intern. Multidisciplinary Sci. GeoConf. (SGEM 2016). Albena, Bulgaria, 30 June – 6 July 2016*. Albena, Bulgaria, 2016, book 3, vol. 2, part A, pp. 589–594. Available at: <https://sgemworld.at/sgemlib/spip.php?article8273> (accessed 28.08.2017). Doi: 10.5593/sgem2016/b32/s14.046

Received on September 27, 2017



МЕХАНИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

УДК 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.88

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ СУШКИ ДРЕВЕСИНЫ СУЩЕСТВЕННО НЕИЗОТЕРМИЧЕСКИМИ РЕЖИМАМИ

А.Г. Гороховский, д-р техн. наук, проф.

Е.Е. Шишкина, д-р техн. наук, доц.

Е.В. Старова, асп.

А.А. Миков, асп.

Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, д. 37, г. Екатеринбург, Россия, 620100; e-mail: elenashishkina@yandex.ru

Развитие технологии сушки древесины в настоящее время идет в основном путем совершенствования режимов сушки на основе современных методов компьютерного моделирования и оптимизации процессов. При этом перспективным направлением является совершенствование режимов сушки в части их энергоэффективности и обеспечения требуемого потребителями качества продукции. Предмет настоящего исследования – теоретический анализ тепломассообмена при сушке пиломатериалов режимами, основанными на явлении термовлагопроводности. Подобные режимы характеризуются наличием градиента температуры по сечению сохнущего сортамента, что позволяет классифицировать их как существенно неизотермические. Для анализа процессов неизотермического переноса могла бы быть использована модель, базирующаяся на уравнениях двухфазной фильтрации, изотермах сорбции, термодинамических уравнениях Кельвина–Клайперона–Клаузиуса, но это сопряжено с существенными математическими затруднениями. Цель исследования – корректировка решения системы уравнений тепломассообмена в условиях существенной неизотермичности. Методологической основой исследования является физическая модель капиллярно-пористой структуры древесины, учитывающая коллоидную природу клеточной стенки, а также модель переноса влаги в капиллярах древесины. У капиллярно-пористых тел, к которым можно отнести древесину, влагообмен со средой происходит за счет удаления жидкости из капилляров, выходящих на поверхность. При равновесии жидкости в капилляре над ее мениском на стенке образуется полимолекулярная пленка толщиной, уменьшающейся вверх по определенному закону, который может быть найден, если известно расклинивающее давление или насыщенность пара пленки в функции ее толщины. Для оценки вклада пленочного механизма переноса в общий поток влаги может быть использована система уравнений Дерягина–Нерпина. На основе этого было проведено компьютерное моделирование процессов капиллярного влагопереноса в целях уточнения влияния термовлагопроводности на общий процесс тепломассообмена в коллоидном капиллярно-пористом теле – древесине. В ходе анализа процессов тепломассообмена получены формулы для определения критерия фазового перехода и термо-

Для цитирования: Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е., Старова Е.В., Миков А.А. Анализ процессов сушки древесины существенно неизотермическими режимами // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 88–96. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.88

градиентного коэффициента для существенно неизотермических режимов сушки древесины. Результаты работы могут быть использованы при изучении капиллярно-пористой структуры древесины и определении параметров режимов сушки пиломатериалов. К принципиально новым выводам по итогам исследования можно отнести то, что направление градиента температуры в сечении сохнущего сортимента тормозит (или увеличивает) поток влаги в капиллярах, возникающий на основе пленочного механизма переноса, вызванного расклинивающим давлением. Это явление существенно влияет на величину критерия фазового перехода, а также вызывает некоторую асимметричность потоков влаги при изменении направления вектора градиента температуры.

Ключевые слова: термовлагопроводность, тепломассообмен, критерий фазового перехода, режимы сушки древесины, термоградиентный коэффициент.

Введение

Развитие технологии сушки древесины в настоящее время идет в основном путем совершенствования режимов сушки на основе современных методов компьютерного моделирования и оптимизации процессов [2]. При этом перспективным направлением является совершенствование режимов сушки в части их энергоэффективности и обеспечения требуемого потребителями качества продукции. Особый интерес в этом отношении представляют режимы, базирующиеся на явлении термовлагопроводности и характеризующиеся наличием градиента температуры по сечению сохнущего сортимента, что позволяет классифицировать их как существенно неизотермические.

Можно выделить целый ряд теоретических работ, связанных с моделированием неизотермического тепломассообмена в капиллярно-пористых средах [1, 4, 5, 9, 11–14], в том числе и в древесине. Авторы отмечают, что в настоящее время при описании совместного тепло- и массопереноса в капиллярно-пористых средах даже для простейшего случая не существует единого феноменологического подхода, причем расхождения в физической и математической постановке подобных задач в теории сушки, сорбции и двухфазной фильтрации носят принципиальный характер. Известные подходы практически не используют достижения в области термодинамики и физики поверхностных явлений. Так, в работе [5] предпринята попытка разработать феноменологическую модель нестационарных процессов взаимосвязанного тепловлагопереноса в капиллярно-пористых средах с учетом влияния капиллярных и поверхностных сил, интенсивности массообмена между фазами и термокапиллярных течений. При этом предложена математическая модель тепловлагопереноса, базирующаяся на уравнениях двухфазной фильтрации, изотермах сорбции, термодинамических уравнениях Кельвина–Клайперона–Клаузиуса. Следует отметить, что уравнения двухфазной фильтрации для коллоидных капиллярно-пористых сред (типа древесины) не сформулированы, что значительно усложняет даже постановку и без того чрезвычайно сложной задачи, практическое решение которой сопряжено с применением метода взвешенных невязок Галеркина вкуче с квадратурной формулой Гаусса–Любатто для вычисления подынтегральных выражений в системе уравнений неизотермического влагопереноса:

$$\begin{aligned}
& \int_{\Omega} \begin{vmatrix} N_i & C_v & 0 \\ N_i & C_{hv} & N_i C_{wp} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \frac{\partial T}{\partial t} \\ \frac{\partial \theta_{liq}}{\partial t} \end{vmatrix} \partial \Omega - \int_{\Omega} \begin{vmatrix} N_i L & \frac{\partial \theta_{liq}}{\partial t} \\ 0 & \end{vmatrix} \partial \Omega + \int_{\Omega} \begin{vmatrix} N_i L \rho_{liq} \nabla v_{liq} \\ 0 \end{vmatrix} \partial \Omega - \\
& - \int_{\Omega} \begin{vmatrix} 0 \\ \nabla N_i K_w \rho_{liq} g \nabla D \end{vmatrix} \partial \Omega + \int_{\Omega} \begin{vmatrix} N_i \nabla \lambda \nabla N_i & 0 \\ N_i \nabla K_{hv} \nabla N_i & N_i \nabla K_{wv} \nabla N_i \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_j \\ P_{liqj} \end{vmatrix} \partial \Omega - \\
& - \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i \alpha T_{\infty} \\ 0 \end{vmatrix} \partial \Gamma + \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i \alpha N_j & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_j \\ P_{liqj} \end{vmatrix} \partial \Gamma - \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i q_h \\ N_i (q_v + q_{liq}) \end{vmatrix} \partial \Gamma - \\
& - \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i \varepsilon \sigma T_{\infty}^4 \\ 0 \end{vmatrix} \partial \Gamma + \int_{\Gamma} \begin{vmatrix} N_i \varepsilon \sigma N_j^4 & 0 \\ 0 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} T_j^4 \\ P_{liqj} \end{vmatrix} \partial \Gamma = 0.
\end{aligned}$$

Совершенно очевидно, что в подобной постановке задача не может быть решена.

В то же время для анализа процессов сушки древесины с использованием явления термовлагопроводности может быть использован подход, реализованный в работе [3].

Объекты и методы исследования

Для наиболее простого случая, когда градиенты общего давления отсутствуют (процессы тепломассобмена при низкотемпературной конвективной сушке), при анализе процессов обычно используют следующую систему дифференциальных уравнений в частных производных [6]:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \nabla^2 t + \frac{\varepsilon \rho}{c} \frac{\partial u}{\partial \tau}; \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial \tau} = a_m \nabla^2 u + a_m \delta \nabla^2 t. \quad (2)$$

Начальные и граничные условия III рода для неограниченной пластины:

$$t(x, 0) = f(x);$$

$$u(x, 0) = \varphi(x);$$

$$-\lambda \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} + \alpha [t_c - t(R, \tau)] - (1 - \varepsilon) \rho \alpha_m [u(R, \tau) - u_p] = 0;$$

$$a_m \frac{\partial u(R, \tau)}{\partial x} + a_m \delta \frac{\partial t(R, \tau)}{\partial x} + \alpha_m [u(R, \tau) - u_p] = 0.$$

Условие симметрии:

$$\frac{\partial t(0, \tau)}{\partial x} = \frac{\partial u(0, \tau)}{\partial x} = 0.$$

В вышеприведенных формулах использованы следующие обозначения:

t – температура древесины;

τ – время;

a – коэффициент температуропроводности;

ε – критерий фазового перехода;

ρ – плотность древесины;

c – удельная теплоемкость;

u – влажность древесины;

a_m – коэффициент влагопроводности;

δ – термоградиентный коэффициент;
 λ – коэффициент теплопроводности;
 R – половина толщины доски;
 α – коэффициент теплообмена;
 t_c – температура среды;
 u_p – равновесная влажность древесины;
 α_m – коэффициент влагообмена.

Очевидно, что для корректного решения системы уравнений (1)–(2) в случае неизотермического тепломассообмена необходимо знать значения ε и δ в функции текущей влажности при различном направлении вектора градиента температуры в сохнувшем сортименте [10].

В ходе ранее проводимых исследований нами была предложена модель капиллярно-пористой структуры древесины с учетом коллоидной природы клеточной стенки и модели переноса влаги в капиллярах древесины.

У капиллярно-пористых тел, каким является древесина, влагообмен со средой происходит за счет удаления жидкости из капилляров, выходящих на поверхность.

При равновесии жидкости в капилляре над ее мениском на стенке образуется полимолекулярная пленка толщиной, уменьшающейся вверх по определенному закону, который может быть найден, если известно расклинивающее давление или насыщенность пара пленки в функции ее толщины.

Для оценки вклада пленочного механизма переноса в общий поток влаги может быть использована система уравнений Дерягина–Нерпина [7]:

$$\left. \begin{aligned} -\eta \frac{\partial^2 V_x}{\partial z^2} &= \frac{\partial \Pi}{\partial x} - \frac{\partial P_c}{\partial x} \\ -\eta \frac{\partial^2 V_y}{\partial z^2} &= \frac{\partial \Pi}{\partial y} - \frac{\partial P_c}{\partial y} \end{aligned} \right\},$$

где η – вязкость жидкости;

V_x, V_y – скорость перемещения слоев жидкости по осям x, y, z , последняя из которых направлена по нормали к одной из поверхностей раздела;

Π – расклинивающее давление, являющееся функцией толщины слоя;

P_c – внешнее давление на слой.

Необходимо отметить, что все исследования с использованием модели коллоидной капиллярно-пористой структуры древесины ранее проводились для изотермических условий. Поэтому нами был выполнен вычислительный эксперимент по определению влияния термовлагопроводности на общий процесс тепломассообмена в коллоидном капиллярно-пористом теле, для оценки влияния термовлагопроводности – компьютерное моделирование процессов капиллярного влагопереноса с использованием расчетных формул Н.В. Чураева [8].

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 приведены расчетные зависимости критерия фазового перехода от градиента температуры.

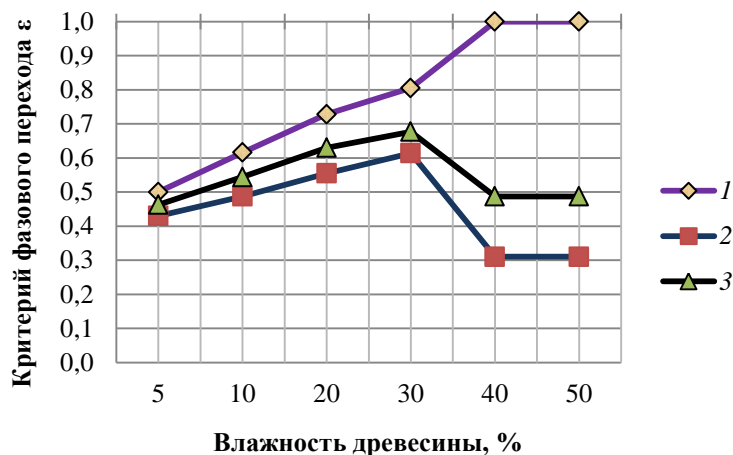


Рис. 1. Зависимость критерия фазового перехода от градиента температуры: 1 – градиент температуры положителен; 2 – отрицателен; 3 – изотермический перенос

При этом можно отметить, что свободная влага при положительном направлении градиента температуры удаляется в виде пара ($\varepsilon = 1,0$), т. е. тормозящее влияние положительного градиента температуры оказывается настолько значительным, что перекрывает поток жидкостной влаги. С другой стороны, это полностью подтверждает гипотезу А.И. Фоломина об удалении в парообразном виде свободной влаги [11].

При решении системы уравнений тепломассообмена необходимо представить критерий фазового перехода в виде

$$\varepsilon = k_1(\Delta t)\varepsilon_1(u) + k_2(\Delta t)\varepsilon_2(u),$$

где $k_1(\Delta t)$, $k_2(\Delta t)$ – температурные коэффициенты, зависящие от направления градиента температуры;

$\varepsilon_1(u)$, $\varepsilon_2(u)$ – критерии фазового перехода.

Коэффициенты $k_1(\Delta t)$ и $k_2(\Delta t)$ зависят от влажности древесины (рис. 2).

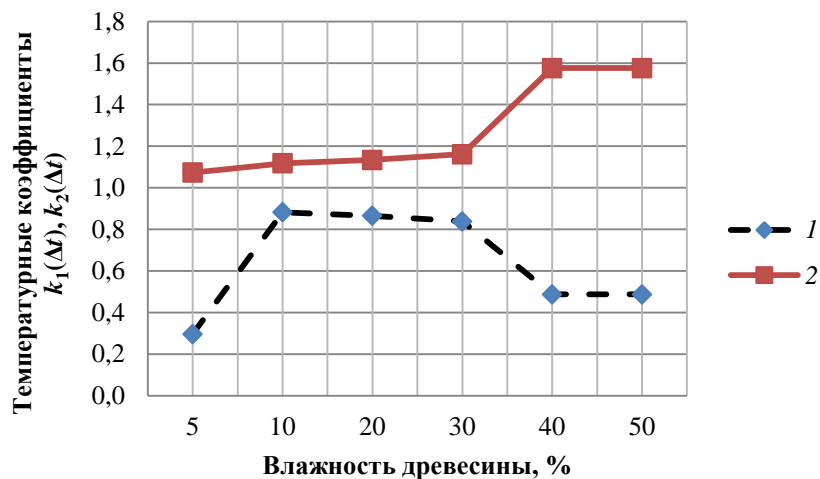


Рис. 2. Зависимость температурных коэффициентов $k_1(\Delta t)$ и $k_2(\Delta t)$ от градиента температуры: 1 – градиент температуры положителен; 2 – отрицателен

Расчетные формулы для определения температурных коэффициентов и критериев фазового перехода:

$$k_1(\Delta t) = -5 \cdot 10^{-3} \Delta t^3 + 1,018 \cdot 10^{-3} \Delta t^2 + 0,55 \Delta t + 0,399 ;$$

$$k_2(\Delta t) = 5 \cdot 10^{-3} \Delta t^3 + 1,018 \cdot 10^{-3} \Delta t^2 - 0,55 \Delta t + 0,399 ;$$

$$\varepsilon_1(u) = 42,054u^5 - 94,787u^4 + 75,965u^3 - 27,191u^2 + 5,229u + 0,298 ;$$

$$\varepsilon_2(u) = -78,103u^5 + 170,324u^4 - 125,386u^3 + 34,667u^2 - 2,778u + 0,506 .$$

При решении системы уравнений теплообмена (1)–(2) необходимо учитывать следующее.

1. Существует некоторая асимметричность потоков влаги при изменении направления вектора градиента температуры.

2. Уравнение влагопроводности (2) в таком случае приобретает следующий вид:

$$\frac{\partial u}{\partial t} = a_m \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + a_m \delta k_\delta \frac{\partial^2 t}{\partial x^2},$$

где k_δ – коэффициент, учитывающий асимметричность потоков влаги,

$$k_\delta = k_1(\Delta t)k_{\delta 1}(u) + k_2(\Delta t)k_{\delta 2}(u);$$

$$k_{\delta 1}(u) = -84,154u^5 + 185,116u^4 - 139,868u^3 + 42,552u^2 - 5,434u + 1,112;$$

$$k_{\delta 2}(u) = 98,812u^5 - 217,104u^4 + 163,626u^3 - 49,458u^2 + 6,208u + 0,862.$$

Данные, полученные нами в результате теоретических исследований, позволили в дальнейшем внести корректировки в методику анализа процессов сушки при неизотермичности используемых режимов [9].

Выводы

1. Для анализа процессов неизотермического переноса могла бы быть использована модель, базирующаяся на уравнениях двухфазной фильтрации, изотермах сорбции, термодинамических уравнениях Кельвина–Клайперона–Клаузиуса, но это сопряжено с существенными математическими затруднениями.

2. В зависимости от направления градиента температуры термовлагопроводность может ускорять (или тормозить) процесс влагоудаления. Тормозящий эффект может существенно уменьшить и даже полностью остановить поток влаги.

3. Наиболее существенно термовлагопроводность влияет на удаление свободной влаги. При влажности древесины менее 20 % влияние термовлагопроводности становится несущественным, что необходимо учитывать при разработке режимов сушки древесины.

4. Термовлагопроводность существенно влияет на величину критерия фазового перехода. Это связано с тем, что изменение направления градиента температуры приводит к существенному изменению плотности потока влаги.

5. Вся свободная влага при положительном направлении градиента температуры удаляется в виде пара, т. е. тормозящее влияние положительного градиента температуры оказывается настолько значительным, что перекрывает поток влаги, вызываемый расклинивающим давлением.

6. При решении задач теплообмена в процессе сушки древесины необходимо учитывать некоторую асимметричность потоков влаги при изменении направления вектора градиента температуры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Веретельник Т.И.* Математическая модель неизоэтермического массопереноса в пористых средах // Вісник Сумського державного університету. Сер. «Технічні науки». 2003. № 12(58). С. 153–158.
2. *Гороховский А.Г.* Технология сушки пиломатериалов на основе моделирования и оптимизации процессов теплообмена в древесине: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2008. 263 с.
3. *Гороховский А.Г., Шишкина Е.Е.* Модели влагопереноса в коллоидной капиллярно-пористой структуре древесины // Тр. III междунар. евразийского симп. «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века». Екатеринбург: УГЛТУ, Уралтехнопарк, 2008. С. 41–46.
4. *Гринчик Н.Н., Акулич П.В., Куц П.С., Павлюкевич Н.В., Терехов В.И.* К проблеме неизоэтермического массопереноса в пористых средах // Инж.-физ. журн. 2003. Т. 76, № 6. С. 129–141.
5. *Гринчик Н.Н., Гишкелюк И.А., Кундас С.П.* Моделирование теплообмена и поверхностных явлений в капиллярно-пористых средах на основе уравнений двухфазной фильтрации и изотерм сорбции // Современная наука: сб. ст. 2011. № 2(7). С. 146–150.
6. *Лыков А.В.* К теории миграции влаги в капиллярно-пористых телах // Коллоид. журн. 1947. Т. IX, № 2. С. 117–124.
7. *Нертин С.В., Дерягин Б.В.* Кинетика течения и устойчивость тонких слоев жидкости на твердой подкладке с учетом сольватной оболочки как особой фазы // Докл. АН СССР. 1955. Т. 100, № 1. С. 17–20.
8. *Чураев Н.В.* Механизм переноса влаги в капиллярно-пористых телах // Докл. АН СССР. 1963. Т. 148, № 6. С. 1361–1364.
9. *Шишкина Е.Е.* Энергосберегающая технология конвективной сушки пиломатериалов на основе управляемого влагопереноса в древесине: дис. ... д-ра техн. наук. Екатеринбург, 2016. 336 с.
10. *Шишкина Е.Е., Гороховский А.Г.* О влиянии эффекта Жамена на термовлагопроводность древесины // Вестн. технол. ун-та. 2015. Т.18, № 12. С. 92–94.
11. *Шишкина Е.Е., Гороховский А.Г.* Определение параметров неизоэтермического влагообмена при сушке древесины с учетом ее капиллярной проводимости // Вестн. технол. ун-та. 2015. Т.18, № 19. С. 104–106.
12. *Goodman J.* Ambient Temperature Stratification Effects in Laminar Free Convection // International Journal of Heat and Mass Transfer. 1973. Vol. 16, iss. 10. Pp. 1949–1950.
13. *Jaluria Y.* Natural Convection Heat and Mass Transfer. Oxford: Pergamon Press, 1980. 326 p.
14. *Wilde K.* Wärme- und Stoffübergang in Strömungen. Band 1. Erzwungene und Freie Strömung. Darmstadt: Steinkopff-Verlag Heidelberg, 1978. 300 p.

Поступила 23.09.17

УДК 674.047

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.88

Wood Drying Processes under Essentially Nonisothermal Conditions*A.G. Gorokhovskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor**E.E. Shishkina, Doctor of Engineering Sciences, Associate Professor**E.V. Starova, Postgraduate Student**A.A. Mikov, Postgraduate Student*

For citation: Gorokhovskiy A.G., Shishkina E.E., Starova E.V., Mikov A.A. Wood Drying Processes under Essentially Nonisothermal Conditions. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 88–96. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.88

Ural State Forest Engineering University, Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100, Russian Federation; e-mail: elenashishkina@yandex.ru

The wood drying technology is being developed mainly by improving the wood drying schedule based on modern methods of computer simulation and process optimization. A promising direction is the improvement of drying schedules in terms of their energy efficiency and ensuring the required quality of products. The scope of research is a theoretical analysis of heat and mass transfer when wood drying by schedules on the basis of the phenomenon of thermal moisture conductivity. Such regimes are characterized by the presence of a temperature gradient along the section of the drying assortment, which classifies them as essentially nonisothermal. A model based on the two-phase filtration equations, sorption isotherms, the Kelvin–Cliperon–Clausius thermodynamic equations could be used to analyze nonisothermal transfer processes, but it is associated with significant mathematical difficulties. The goal of research is to adjust solve simultaneous equations of heat and mass transfer under the essentially nonisothermal conditions. The methodological basis of the study is the physical model of the capillary-porous wood structure, taking into account the colloidal nature of the cell wall and moisture transfer model in wood capillaries. In capillary-porous bodies, to which wood can be referred, moisture exchange with the medium occurs due to the removal of liquid from the capillaries on the surface. When the liquid in the capillary is in the equilibrium over its meniscus, a polymolecular film is formed on the wall. Its thickness decreases upwards according to a definite law, which can be found if the disjoining pressure or saturation of the film vapor is known in the function of its thickness. To evaluate the contribution of the film transfer mechanism to the total moisture flow the Deryagin–Nerpin system of equations can be applied. On this basis we carried out computer simulation of the processes of capillary moisture transfer in order to clarify the influence of thermal moisture conductivity on the overall process of heat and mass transfer in the colloidal capillary-porous body, which is wood. In the analysis of heat and mass transfer processes, the authors have obtained the formulas for determining the phase transformation number and the thermal-gradient coefficient for essentially nonisothermal wood drying schedules. The results of the work can be used in studying the wood capillary – porous structure and determining the parameters of wood drying schedules. The fundamentally new conclusions of the study include the fact that the direction of the temperature gradient in the section of drying assortment inhibits (or increases) the flow of liquid moisture in the capillaries occurring on the basis of a film transfer mechanism, caused by the disjoining pressure. This phenomenon significantly affects the value of the phase transition number and causes some asymmetry of moisture flows when the direction of the temperature gradient vector changes.

Keywords: thermal moisture conductivity, heat-and-mass transfer, phase transformation number, wood drying schedule, thermal-gradient coefficient.

REFERENCES

1. Veretel'nik T.I. Matematicheskaya model' neizotermicheskogo massoperenosa v poristyykh sredakh [Mathematical Model of Non-Isothermal Mass Transfer in Porous Media]. *Visnik Sums'kogo derzhavnogo universitetu. Seriya: Tekhnichni nauki*, 2003, no. 12(58), pp. 153–158.
2. Gorokhovskiy A.G. *Tekhnologiya sushki pilomaterialov na osnove modelirovaniya i optimizatsii protsessov teplomassoperenosa v drevesine*: dis. ... d-ra tekhn. nauk [Technology of Lumber Drying Based on Modeling and Optimization of Heat and Mass Transfer in Wood: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Yekaterinburg, 2008. 263 p.
3. Gorokhovskiy A.G., Shishkina E.E. Modeli vlagoperenosa v kolloidnoy kapillyarno-poristoy strukture drevesiny [Models of Moisture Transfer in a Colloidal Capillary-Porous Structure of Wood]. *Tr. III mezhdunar. evraziyskogo simp. «Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovanie, menedzhment XXI veka»* [Proc. 3d Intern.

Eurasian Acad. Conf. “Woodworking: Technologies, Equipment, Management of the 21st Century”]. Yekaterinburg, 2008, pp. 41–46. (In Russ.)

4. Grinchik N.N., Akulich P.V., Kuts P.S., Pavlyukevich N.V., Terekhov V.I. K probleme neizotermicheskogo massoperenosa v poristyykh sredakh [On the Problem of Nonisothermal Mass Transfer in Porous Media]. *Inzhenerno-fizicheskiy zhurnal* [Journal of Engineering Physics and Thermophysics], 2003, vol. 76, no. 6, pp. 129–141.

5. Grinchik N.N., Gishkelyuk I.A., Kundas S.P. Modelirovanie teplomassoperenosa i poverkhnostnykh yavleniy v kapillyarno-poristyykh sredakh na osnove uravneniy dvukhfaznoy fil'tratsii i izoterm sorbsii [Modelling of Heat and Mass Transfer and Surface Phenomena in Capillaryporous Media Based on Equations of Two-Phase Filtration and Sorption Isotherms]. *Sovremennaya nauka: issledovaniya, idei, rezul'taty, tekhnologii* [Modern Science: Researches, Ideas, Results, Technologies], 2011, no. 2(7), pp. 146–150.

6. Lykov A.V. K teorii migratsii vlagi v kapillyarno-poristyykh telakh [To the Theory of Moisture Migration in Capillary-Porous Bodies]. *Kolloidnyy zhurnal* [Colloid journal], 1947, vol. IX, no. 2, pp. 117–124.

7. Nerpin S.V., Deryagin B.V. Kinetika techeniya i ustoychivost' tonkikh sloev zhidkosti na tverдой podkladke s uchedom sol'vatnoy obolochki kak osoboy fazy [Kinetics of Flow and Stability of Thin Liquid Layers on a Solid Bearing, Taking into Account the Solvate Shell as a Special Phase]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], 1955, vol. 100, no. 1, pp. 17–20.

8. Churaev N.V. Mekhanizm perenosa vlagi v kapillyarno-poristyykh telakh [The Mechanism of Moisture Transfer in Capillary-Porous Bodies]. *Doklady Akademii nauk SSSR* [Proceedings of the USSR Academy of Sciences], 1963, vol. 148, no. 6, pp. 1361–1364.

9. Shishkina E.E. *Energoberegayushchaya tekhnologiya konvektivnoy sushki pilomaterialov na osnove upravlyaemogo vlagoperenosa v drevesine: dis. ... d-ra tekhn. nauk* [Energy-Saving Technology of Convective Lumber Drying Based on Controlled Moisture Transfer in Wood: Dr. Eng. Sci. Diss.]. Yekaterinburg, 2016. 336 p.

10. Shishkina E.E., Gorokhovskiy A.G. O vliyaniy efekta Zhamena na termovlagoprovodnost' drevesiny [On the Jamin Effect on the Thermal Moisture Conductivity of Wood]. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 12, pp. 92–94.

11. Shishkina E.E., Gorokhovskiy A.G. Opredelenie parametrov neizotermicheskogo vlogoobmena pri sushke drevesiny s uchedom ee kapillyarnoy provodimosti [Determination of the Parameters of Nonisothermal Moisture Exchange when Lumber Drying Taking into Account Its Capillary Conductivity]. *Vestnik Kazanskogo Tekhnologicheskogo Universiteta* [Herald of Kazan Technological University], 2015, vol. 18, no. 19, pp. 104–106.

12. Goodman J. Ambient Temperature Stratification Effects in Laminar Free Convection. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1973, vol. 16, iss. 10, pp. 1949–1950.

13. Jaluria Y. *Natural Convection Heat and Mass Transfer*. Oxford, Pergamon Press, 1980. 326 p.

14. Wilde K. *Wärme- und Stoffübergang in Strömungen. Band 1. Erzwungene und Freie Strömung*. Darmstadt, Steinkopff-Verlag Heidelberg, 1978. 300 p.

Received on September 23, 2017

УДК 621.039.546:621.039.52.034.3
DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.97

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЦИЛИНДРОКОНИЧЕСКИХ БУНКЕРАХ

В.В. Лозовецкий, д-р техн. наук, проф.

А.А. Шадрин, д-р техн. наук, проф.

С.А. Катков, асп.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 1-я Институтская ул., д. 1, г. Мытищи, Московская область, Россия, 141005; e-mail: Lozovetsky@mail.ru, Shadrin@mgul.ac.ru, KatkovSA@ya.ru

Представлены результаты экспериментально-аналитических исследований движения в цилиндрикоконическом бункере измельченной древесины, которая рассматривается как сыпучая среда с эффективной вязкостью, зависящей от физико-механических свойств частиц древесины (коэффициентов внутреннего и внешнего трения). Для описания движения частиц такого материала получены уравнения, аналогичные уравнениям Навье–Стокса, и необходимые для их решения граничные условия, учитывающие проскальзывание частиц на стенках бункера. Предложены универсальные граничные условия для вихревой функции и функции тока для частиц, движущихся вдоль вертикальных и наклонных стенок бункера, основанные на использовании физико-механических свойств измельченной древесины и ее продуктов. Это дает возможность аналитически описывать движение сыпучих сред в бункерах с одним центральным разгрузочным отверстием, что существенно снижает затраты на создание систем для транспортировки аналогичных сред в различных технологических процессах. Эксперименты проведены на моделях и реальных цилиндрикоконических бункерах пневмотранспортных систем с учетом критериев теории подобия, что позволило получить согласующиеся между собой данные, характеризующие влияние угла наклона конической части бункера, диаметра разгрузочного отверстия и физико-механических свойств среды на процесс гравитационного движения измельченной древесины и продуктов на ее основе. Предложены зависимости для расчета скорости проскальзывания древесных частиц на стенках бункера, а также изменения скорости частиц в сыпучей среде на оси бункера, на его входной и выходной границах. Результаты расчетов процессов, протекающих в бункере пневмотранспортной системы, полученные с использованием предложенных уравнений движения и универсального граничного условия для вихревой функции, и экспериментальные данные хорошо согласуются между собой, что позволяет проводить сравнительный анализ технико-экономической эффективности различных проектных решений.

Ключевые слова: древесностружечные материалы, квазиньютоновская жидкость, коэффициенты внутреннего и внешнего трения, коэффициент кажущейся вязкости, функция тока, вихревая функция.

Введение

При проектировании магистралей для перемещения древесностружечных материалов, отходов лесозаготовительных и лесопильно-деревоперерабатывающих производств (рубленной массы или щепы, древес-

Для цитирования: Лозовецкий В.В., Шадрин А.А., Катков С.А. Моделирование движения древесностружечных материалов в цилиндрикоконических бункерах // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 97–108. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.97

ных опилок), а также аналогичных им дискретных сред (зерновых, цемента, угля, биомассы и др.) в элементах пневмосистем (трубопроводах, бункерах, загрузочных воронках) необходимо обеспечить более равномерное их продвижение по объему, чтобы предотвратить образование застойных зон в местах перехода от цилиндрической части бункера к конической и сводаобразование, приводящее к нарушению технологического процесса.

В настоящее время практически отсутствуют исследования, в которых существующие теоретические модели движения таких сред [1–3, 5, 6, 9, 11–13, 15, 16] были бы доведены до получения конкретных результатов расчета. Это затрудняет оценку пригодности этих моделей для расчета течения указанных сред на основании сравнения расчетных данных с экспериментальными, а также проектирование надежно работающих бункеров.

Цель наших исследований – разработка физической модели и алгоритма расчета процесса движения частиц измельченной древесины различного фракционного состава в бункерах осесимметричной геометрии и их экспериментальное подтверждение.

Объекты и методы исследования

Экспериментальные исследования, проведенные на трубопроводах и бункерах осесимметричной формы с одним разгрузочным отверстием и коническим днищем, свидетельствуют о том, что движение в них тестовых древесных частиц, состоящих из элементов различной формы, при соотношении диаметра бункера D и размера элемента дискретной среды, приведенного к диаметру сферы d , равного с ним объема ($D/d \geq 40$), аналогично движению сплошной среды в ламинарном режиме. Вследствие этого дискретная среда при указанном соотношении может рассматриваться как некая квазиньютоновская жидкость. Для описания ее движения может быть использована система уравнений, аналогичных уравнениям Навье–Стокса, с вязкостью, соответствующей кажущейся вязкости сыпучей среды [4]:

$$\rho_+ (W \cdot \Delta) W = \rho_+ g - \text{grad} p + \mu \Delta^2 W ; \quad (1)$$

$$\text{div} W = 0,$$

где ρ_+ – кажущаяся плотность сыпучей среды;

W – вектор абсолютной скорости сыпучей среды;

p – внутреннее давление засыпки измельченных древесных частиц;

μ – кажущаяся вязкость сыпучей среды.

С точки зрения программной реализации это уравнение имеет важное преимущество, поскольку методы его решения хорошо разработаны [8]. В то же время вопрос о граничных условиях для такого представления дискретной среды остается открытым. Поэтому модель движения засыпки измельченных древесных частиц в приближении вязкой несжимаемой жидкости не является формальным повторением существующей в гидродинамике модели.

Запишем уравнение (1) в прямоугольной системе координат:

$$W_x \frac{\partial W_x}{\partial x} + W_z \frac{\partial W_x}{\partial z} = X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 W_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_x}{\partial z^2} \right);$$

$$W_x \frac{\partial W_z}{\partial x} + W_z \frac{\partial W_z}{\partial z} = Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 W_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 W_z}{\partial z^2} \right),$$

где ν – кинематический коэффициент вязкости сыпучей среды.

Первое уравнение продифференцируем по z , второе – по x , полагая, что

$$v = \frac{\mu}{\rho} = \text{const:}$$

$$\frac{\partial W_x}{\partial z} \frac{\partial W_x}{\partial x} + W_x \frac{\partial^2 W_x}{\partial x \partial z} + \frac{\partial W_z}{\partial z} \frac{\partial W_x}{\partial z} + W_z \frac{\partial^2 W_x}{\partial z^2} = \frac{\partial X}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial z} + v \left(\frac{\partial^3 W_x}{\partial x^2 \partial z} + \frac{\partial^3 W_x}{\partial z^3} \right);$$

$$\frac{\partial W_x}{\partial x} \frac{\partial W_z}{\partial x} + W_x \frac{\partial^2 W_z}{\partial x^2} + \frac{\partial W_z}{\partial x} \frac{\partial W_z}{\partial z} + W_z \frac{\partial^2 W_z}{\partial z \partial x} = \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial z \partial x} + v \left(\frac{\partial^3 W_z}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 W_z}{\partial z^2 \partial x} \right).$$

Преобразуем левую часть этих уравнений, используя уравнение неразрывности:

$$W_x \frac{\partial^2 W_x}{\partial x \partial z} + W_z \frac{\partial^2 W_x}{\partial z^2} = \frac{\partial X}{\partial z} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial x \partial z} + v \left(\frac{\partial^3 W_x}{\partial x^2 \partial z} + \frac{\partial^3 W_x}{\partial z^3} \right);$$

$$W_x \frac{\partial^2 W_z}{\partial x^2} + W_z \frac{\partial^2 W_z}{\partial z \partial x} = \frac{\partial Z}{\partial x} - \frac{1}{\rho} \frac{\partial^2 p}{\partial z \partial x} + v \left(\frac{\partial^3 W_z}{\partial x^3} + \frac{\partial^3 W_z}{\partial z^2 \partial x} \right).$$

Вычтем из первого уравнения второе, полагая, что все смешанные производные непрерывны [10]:

$$\begin{aligned} W_x \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial W_x}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial x} \right) + W_z \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\partial W_x}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial x} \right) = \\ = v \left[\frac{\partial^2}{\partial x^2} \left(\frac{\partial W_x}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial x} \right) + \frac{\partial^2}{\partial z^2} \left(\frac{\partial W_x}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial x} \right) \right], \end{aligned}$$

Данное уравнение преобразуем к виду, удобному для интегрирования, введя новые переменные: функцию тока ψ , удовлетворяющую уравнению неразрывности, и вихревую функцию

$$\omega = \left(\frac{\partial W_x}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial x} \right).$$

Окончательно получим систему уравнений с переменными ψ и ω :

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{\partial \omega}{\partial z} - \frac{\partial \psi}{\partial z} \frac{\partial \omega}{\partial x} = v \nabla^2 \omega; \\ \nabla^2 \psi = -\omega. \end{aligned}$$

Эту систему для случая осесимметричного движения представим в следующем виде:

$$\rho_+ r^2 \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\omega}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right) - \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\omega}{r} \frac{\partial \psi}{\partial z} \right) \right] = \frac{\partial}{\partial z} \left[r^3 \frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{\mu_+ \omega}{r} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[r^3 \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{\mu_+ \omega}{r} \right) \right]; \quad (2)$$

$$\omega = -\frac{1}{r} \left(\frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} + \frac{\partial^2 \psi}{\partial z^2} - \frac{1}{r} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right), \quad (3)$$

где r – текущее значение радиуса.

При решении уравнений (2) и (3), имеющих второй порядок, в силу сложности граничных условий, о которых будет сказано ниже, используем итерационный алгоритм, основанный на последовательном интегрировании двух связанных уравнений второго порядка для переноса вихря и функции тока. В качестве численной схемы была выбрана схема, ориентированная «против потока», стабилизирующее влияние которой на вычисление конечных разностей известно [10].

В отличие от вязкой жидкости, для которой скорость на твердой ограничивающей поток стенке равна нулю, для сыпучей среды это условие не соблюдается. В зависимости от шероховатости поверхности стенки и элементов дискретной среды, что учитывается коэффициентом внешнего трения f_s , скорость проскальзывания этих элементов на вертикальных и наклонных стенках конического бункера может изменяться от нуля до конечного значения. Как показали наши исследования, наличие проскальзывания на стенке не приводит к изменению вида уравнения движения, которое может быть использовано и для этого специфического случая движения среды.

На твердой границе (на вертикальной и наклонной стенках) значение вихревой функции при решении системы уравнений (2) и (3) задавалось двумя способами.

Так как стенка непроницаема, функция тока на ней $\psi = \text{const}$, что отвечает полному расходу через изучаемую область. Для задания вихревой функции ω рассмотрим наиболее общий случай – наклонную стенку, что соответствует коническому днищу. Эти рассуждения будут справедливы и для вертикальной цилиндрической стенки. Наклонная стенка расположена под углом φ к оси z цилиндрической системы координат r, z (рис. 1).

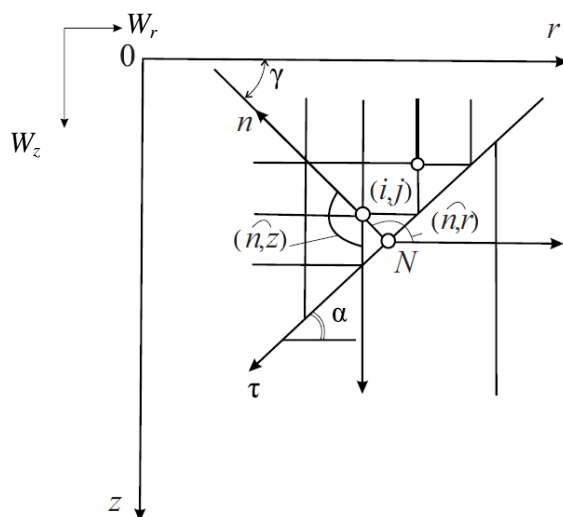


Рис. 1. К определению вихревой функции на наклонной стенке

Прямоугольная сетка в плоскости rz строится так, чтобы узловые точки лежали на стенке. Из ближайших к наклонной стенке узловых точек проводятся линии, нормальные к стенке. В т. N (пересечения нормали со стенкой) функция тока ψ раскладывается в ряд Тейлора:

$$\psi_{ij} = \psi_N + \left. \frac{\partial \psi}{\partial n} \right|_N \Delta n + \frac{1}{2} \left. \frac{\partial^2 \psi}{\partial n^2} \right|_N \Delta n^2 + \frac{1}{6} \left. \frac{\partial^3 \psi}{\partial n^3} \right|_N \Delta n^3 + \dots \quad (4)$$

Производная от функции тока ψ в направлении вектора n определяется выражением

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = \frac{\partial \psi}{\partial r} \cos(n \wedge r) + \frac{\partial \psi}{\partial z} \cos(n \wedge z). \quad (5)$$

С учетом зависимостей для косинусов (рис. 1) и функции тока $\cos(n \wedge r) = -\cos \varphi$; $\cos(n \wedge z) = -\sin \varphi$; $\frac{\partial \psi}{\partial r} = rW_z$; $\frac{\partial \psi}{\partial z} = -rW_r$, выражение (5) представим в следующем виде:

$$\frac{\partial \Psi}{\partial n} = r(W_r \sin \varphi - W_z \cos \varphi).$$

Произведя ряд подстановок с учетом обозначений, приведенных на рис. 1, получим

$$\frac{\partial \Psi}{\partial n} = r(W_r \sin \varphi - W_z \cos \varphi) = -rW_\tau.$$

В рассматриваемом осесимметричном без закрутки течении $\text{rot}W = e_\theta \left(\frac{\partial W_r}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial r} \right)$ (направлен по нормали к плоскости $r z$ (e_θ – единичный вектор), инвариантен относительно поворота и перемещения начала системы координат в плоскости $r z$. Формально это следует из соотношения для преобразования компонентов векторов (в данном случае $\text{rot}W$) в произвольной криволинейной системе координат.

Из инвариантности:

$$\omega = \frac{\partial W_r}{\partial z} - \frac{\partial W_z}{\partial r} = \frac{\partial W_\tau}{\partial n} - \frac{\partial W_n}{\partial \tau}.$$

Так как твердая непроницаемая стенка является линией тока $\frac{\partial W_n}{\partial \tau} = 0$, вихрь в т. N представим как

$$\omega_N = \left(\frac{\partial W_\tau}{\partial n} - \frac{\partial W_n}{\partial \tau} \right) \Big|_N = \frac{\partial W_\tau}{\partial n} \Big|_N.$$

Первая и вторая производные от функции тока в формуле (4):

$$\frac{\partial \Psi}{\partial n} \Big|_N = -r_N W_\tau \Big|_N; \quad \frac{\partial^2 \Psi}{\partial n^2} \Big|_N = \frac{\partial}{\partial n} (-r W_\tau) \Big|_N = -r_N \frac{\partial W_\tau}{\partial n} \Big|_N = -r_N \omega_N.$$

Третью производную представим в следующем виде:

$$\frac{\partial^3 \Psi}{\partial n^3} \Big|_N = \frac{\partial}{\partial n} (-r \omega) \Big|_N = -r_N \frac{(r \omega)_{ij} - (r \omega)_N}{\Delta n} = -\frac{r_N \left(\frac{r_{ij}}{r_N} \omega_{ij} - \omega_N \right)}{\Delta n}.$$

После подстановки этих производных в уравнение (4) и соответствующих преобразований получим выражение для вихревой функции в т. N на стенке бункера, т. е. второе граничное условие:

$$\omega_N = -\frac{3(\Psi_{ij} - \Psi_N)}{r_N \Delta n^2} - \frac{1}{2} \frac{r_{ij}}{r_N} \omega_{ij} - \frac{3W_N^+}{\Delta n}.$$

Здесь Ψ_{ij} , ω_{ij} – значения функции тока и вихревой функции в узле ij (рис. 1) в потоке сыпучей среды;

Ψ_N – функция тока в т. N на стенке бункера;

r_{ij} – расстояние от оси бункера до узла ij ;

r_N – расстояние от оси бункера до т. N на его стенке;

W_N^+ – скорость проскальзывания на стенке, отнесенная к средней скорости.

При таком задании вихревой функции скорость проскальзывания элементов сыпучей среды на стенке определялась из эмпирических зависимостей, полученных путем обработки опытных данных. Одна из них имеет следующий вид:

$$W_N^+ = W_N^+ \Big|_{z_+=1} \frac{\left(\frac{d_+}{D}\right)^{1-z_+} \left(\frac{d}{D}\right)^{0,02(1-z_+)}}{r_+^3},$$

где $W_N^+ \Big|_{z_+=1}$ – относительная скорость проскальзывания элементов дискретной среды на стенке в сечении, соответствующем свободной поверхности дискретной среды (при относительной высоте $z_+ = 1$);

D, d_+, d – диаметры цилиндрической части бункера, разгрузочного отверстия и элемента дискретной среды соответственно;

r_+ – относительный радиус.

Результаты исследования и их обсуждение

Экспериментальная установка имеет бункер, геометрию днища которого можно изменять, что позволило исследовать течение продуктов измельченной древесины при порционной и непрерывной выгрузке частиц измельченной древесной массы и изменении большого числа параметров в широком диапазоне их варьирования.

Результаты экспериментов на моделях с прозрачными стенками и с центральной прозрачной плоской стенкой показали, что картина движения тестовых элементов практически не менялась при выгрузке как 100...600 частиц/мин, так и 80 тыс. частиц/мин, что соответствовало свободному их истечению из разгрузочного отверстия под действием силы тяжести.

Экспериментальные исследования, проведенные в бункере с одним разгрузочным отверстием и соотношением основных размеров $D/d_+ = 4,00; 5,00; 6,66$ и $D/d \approx 40; 55$, с углом наклона конической части $\alpha = 30; 45; 60^\circ$ при движении элементов древесных материалов с эквивалентным диаметром $d = 7,2$ и 10,2 мм, показали, что $W_N^+ \Big|_{z_+=1}$ линейно зависит от коэффициента внешнего трения f_- в достаточно широком диапазоне его изменения и определяется выражением

$$W_N^+ \Big|_{z_+=1} = 1 - 1,335 f_-.$$

Так как стенка непроницаема, функция тока $\psi_N = 1$, что соответствует полному расходу через рассматриваемую область.

На входной границе задавалось распределение скорости (рис. 2), соответствующее физико-механическим свойствам засыпки древесных сферических элементов, которое может быть описано следующей эмпирической зависимостью:

$$W(r_+) \Big|_{z_+=1} = A(f_+) \left(W_{\max}^+ - W_N^+ \Big|_{z_+=1} \right) (1 - r_+^2) + W_N^+ \Big|_{z_+=1},$$

где $A(f_+) = f_+^{k r_+}$;

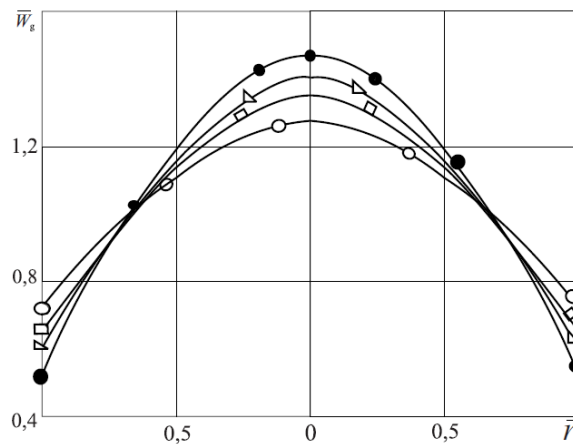
f_+ – коэффициент внутреннего трения;

k – эмпирический коэффициент, $k = 0,1$;

W_{\max}^+ – относительная максимальная скорость, отнесенная к средней скорости;

r_+ – текущее значение относительного радиуса, $r_+ = \frac{2r}{D}$.

Рис. 2. Профили скорости квази-сферических элементов в сечении на высоте $z = D$ от разгрузочного отверстия: \circ – $f_- = 0,218$; $f_+ = 0,360$; \square – $f_- = 0,268$; $f_+ = 0,680$; Δ – $f_- = 0,300$; $f_+ = 0,360$; \bullet – $f_- = 0,360$; $f_+ = 0,680$



Предполагалось, что на выходной границе $\partial\psi/\partial r = \partial\omega/\partial r = 0$. При численных расчетах пользовались коэффициентом кажущейся вязкости дискретной среды, зависящим от коэффициентов внутреннего и внешнего трения, которые определялись аналитически и экспериментально на сдвиговом приборе.

Полученные результаты согласуются между собой и это свидетельствует о том, что с увеличением коэффициента полндревесности K_n , т. е. с уменьшением пористости засыпки древесной биомассы коэффициенты f_+ и f_- возрастают, сопротивление сдвигу K увеличивается с ростом K_n и уплотняющей нагрузки \bar{P} . При этом коэффициенты f_+ и f_- не зависят от \bar{P} .

Расчетные значения углов внутреннего δ_+ и внешнего δ_- трения определялись по предложенной в настоящей работе зависимости с учетом условий сдвига частиц засыпки измельченной древесины и продуктов на ее основе в срезывателе сдвигового прибора (одноосный сдвиг по оси $\bar{r} = \frac{2r}{D}$, где r – текущее значение радиуса; D – диаметр обоймы срезывателя):

$$\delta_{+(-)} = \arcsin \left(K_n \left| \frac{a}{\frac{\partial K_n}{\partial z} + A} - \frac{b}{\frac{\partial K_n}{\partial r} + B} \right| \right).$$

Здесь a, A, b, B – физические константы, полученные в настоящей работе путем численного решения системы в математической среде MathCad 14 с применением встроенной процедуры поиска решений (Левенберга–Маккардта, которая является развитием нелинейного алгоритма минимизации Гаусса–Ньютона),

$$a = 5,2897; A = 3,2058; b = 0,00019; B = -0,00033.$$

При приближении к разгрузочному отверстию ($z_+ \leq 0,05$) экспериментальные данные могут существенно отличаться от результатов расчетов, так как в этой области проявляется дискретность исследуемой среды при ее гравитационной выгрузке (рис. 3). Используемые в этих расчетах граничные условия для вихревой функции на вертикальной и наклонной стенках носят частный характер, поскольку справедливы в достаточно узком диапазоне изменения геометрических и физико-механических параметров.

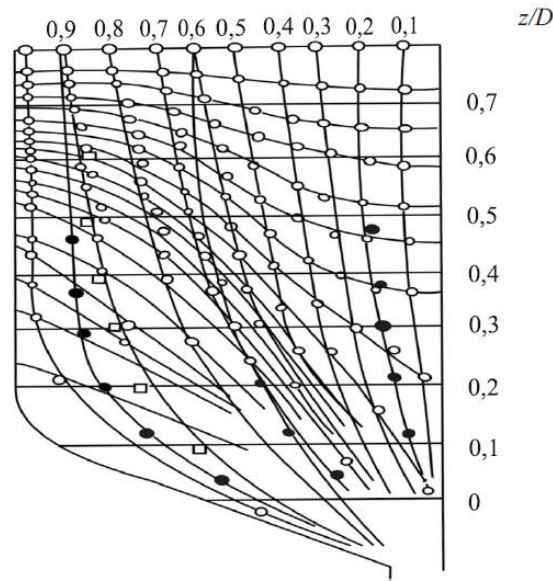


Рис. 3. Сравнение экспериментальных и расчетных данных, полученных в модели осесимметричного бункера: \circ – эксперимент; \bullet – расчет по модели потенциального течения; \square – расчет с учетом кажущейся вязкости

Более универсальное граничное условие получено нами из предположения [14], согласно которому для сыпучей среды справедливо обобщенное правило, определяемое для осесимметричного случая системой дифференциальных уравнений:

$$\left(\frac{\partial W_r}{\partial r} - \frac{\partial W_z}{\partial z} \right) \sin 2\gamma - \left(\frac{\partial W_z}{\partial z} \right) \cos 2\gamma = 0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial W_r}{\partial r} (\sin \delta_+ - \cos \gamma) - \frac{\partial W_z}{\partial z} (\sin \delta_+ + \cos 2\gamma) = 0,$$

где W_r , W_z – проекции абсолютной скорости;

γ – угол наклона алгебраически большего главного напряжения к оси r ,

$$\gamma = \frac{\pi}{4} + \frac{\delta_+}{2} \quad [14].$$

После ряда преобразований [7] можно получить выражение, связывающее угол δ_- с производными проекций скорости на стенках бункера:

$$\operatorname{tg} \delta_- = \frac{2W_z / \partial z|_N}{\partial W_r / \partial z|_N + \partial W_z / \partial r|_N},$$

из которого следует зависимость для вихревой функции на стенке бункера:

$$\omega_N = \frac{2/r (\partial^2 \psi / \partial r \partial z)}{\operatorname{tg} \delta_-} - 2 \left(\frac{1}{r} \frac{\partial^2 \psi}{\partial r^2} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial \psi}{\partial r} \right).$$

Остальные граничные условия аналогичны граничным условиям, рассмотренным выше. Результаты расчетов с использованием универсального граничного условия для вихревой функции сопоставлены на рис. 4 с экспериментальными данными, полученными в бункере с центральным разгрузочным отверстием.

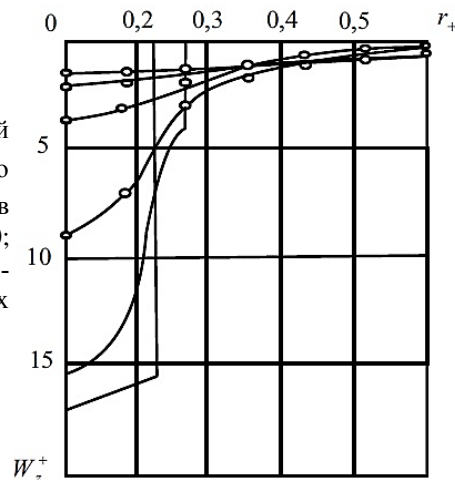


Рис. 4. Изменение профиля относительной скорости W_z^+ квазисферических элементов по высоте модели с соотношением размеров $D/d = 40$; $D/d_+ = 4,0$; $d = 10,2$ мм; $f_+ = 0,360$; $f_- = 0,300$: \circ – эксперимент; — – расчет с использованием универсальных граничных условий

Получено удовлетворительное совпадение расчетных и экспериментальных данных.

Выводы

1. Разработаны физическая модель и алгоритм расчета процесса движения биомассы в виде измельченной древесины, продуктов на ее основе и других растительных отходов в бункерах цилиндрикоконической геометрии.

2. Экспериментальные исследования структурных и физико-механических характеристик таких засыпок позволили получить данные, необходимые для реализации этого алгоритма и подтверждения адекватности физической модели.

3. Определены основные технологические и конструктивные факторы, влияющие на процесс движения биомассы в виде измельченной древесины, продуктов на ее основе и других растительных отходов в элементах оборудования пневмотранспортных устройств – бункерах осесимметричной геометрии.

4. Предложены рекомендации, касающиеся конструктивных параметров бункеров цилиндрикоконической геометрии и технологических режимов, обеспечивающие их надежную, без сводообразования, экономичную и безопасную работу.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Гениев Г.А.* Вопросы динамики сыпучей среды. М.: Госстройиздат, 1958. 122 с.
2. *Дженике Э.В., Иогансон Д.Р., Карсон Д.В.* Нагрузка на бункеры. Ч. 2. Основные понятия // Труды Американского общества инженеров-механиков. Сер. В. «Конструирование и технология машиностроения». М.: Мир, 1973. № 2. С. 254–258.
3. *Крымасов В.Н.* Сыпучая среда как модель неньютоновской жидкости // Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Атомно-водородная энергетика и технология». М., 1980. Вып. 2. С. 138–141.
4. *Крымасов В.Н.* Движение сыпучей среды как неньютоновской жидкости: отчет ИАЭ. Инв. № 35/248182. 1982.
5. *Крымасов В.Н., Лозовецкий В.В., Мордвицев В.М.* Расчет движения шаровых твэлов в активной зоне ВТГР // Вопросы атомной науки и техники. Сер. «Атомно-водородная энергетика и технология». М., 1990. Вып. 2. С. 44–46.

6. *Лозовецкий В.В., Крымасов В.Н.* Гидромеханические и тепловые процессы в ядерных реакторах с микротвэльным топливом. М.: ВИНТИ РАН, 2003. С. 326–329.
7. *Николаевский В.Н.* Определяющие уравнения пластического деформирования сыпучих сред // Прикладная математика и механика. 1971. Т. 35, № 6. С. 1070–1082.
8. *Поттер Д.* Вычислительные методы в физике: пер. с англ. М.: Мир, 1975. 392 с.
9. *Ревуженко А.Ф.* Механика упруго-пластических сред и нестандартный анализ. Новосибирск: Изд-во НГУ, 2000. 426 с.
10. *Фихтенгольц Г.М.* Курс дифференциального и интегрального исчисления: в 3 т. Т. 3. М.: Наука, 1969. 421 с.
11. *Bedenig D.* Ein theoretisches Model zur Beschreibung des Kugelhaufen-Fließverhaltens im Core eines Kugelhaufen-Reaktors // Nuclear Engineering and Design. 1967. Vol. 6, iss. 5. Pp. 479–488.
12. *de Josselin de Jong G.* The Double Sliding, Free Rotating Model for Granular Assemblies // Geotechnique. 1971. Vol. 21, iss. 2. Pp. 155–163.
13. *Drucker D.C., Prager W.* Soil Mechanics and Plastic Analysis or Limit Design // Quarterly of Applied Mathematics. 1952. Vol. 10, iss. 2. Pp. 157–165.
14. *Goodman M.A., Cowin S.C.* A Continuum Theory for Granular Materials // Archive for Rational Mechanics and Analysis. 1972. Vol. 44, iss. 4. Pp. 249–266.
15. *Hill R.* The Mathematical Theory of Plasticity. Oxford: Clarendon Press, 1956. 355 p.
16. *Lilly D.K.* On the Computational Stability of Numerical Solutions of Time-Dependent Non-Linear Geophysical Fluid Dynamics Problems // Monthly Weather Review. 1965. Vol. 93, no. 1. Pp. 11–26.

Поступила 24.09.17

UDC 621.039.546:621.039.52.034.3

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.97

Simulation of Chipboard Materials Motion in the Cylindrical-Conical Bunkers

V.V. Lozovetskiy, Doctor of Engineering Sciences, Professor

A.A. Shadrin, Doctor of Engineering Sciences, Professor

S.A. Katkov, Postgraduate Student

Mytishchi Branch of Bauman Moscow State Technical University, 1-ya Institutskaya ul., 1, Mytishchi, Moscow region, 141005, Russian Federation; e-mail: Lozovetsky@mail.ru, Shadrin@mgu.ac.ru, KatkovSA@ya.ru

The paper presents the results of experimental and analytical studies of hogged wood motion in a cylindrical-conical bunker. This material is considered as a granular medium with an effective viscosity depending on the physical and mechanical properties of wood particles (coefficients of internal and external friction). To describe the motion of particles of such a material, the authors have obtained the equations similar to the Navier–Stokes equations, and the boundary conditions necessary for their solution, taking into account the sliding motion of particles on the walls of the bunker. The universal boundary conditions for the vortex and flow functions for particles moving along the vertical and inclined walls of the bunker are proposed. These conditions are based on the use of physical and mechanical properties of hogged wood and its products. This allows analytically describing the movement of gran-

For citation: Lozovetskiy V.V., Shadrin A.A., Katkov S.A. Simulation of Chipboard Materials Motion in the Cylindrical-Conical Bunkers. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 97–108. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.97

ular media in bins with one central discharge port, which significantly reduces the cost of creating systems for transporting similar media in various technological processes. The experiments are carried out on models and real cylindrical-conical bunkers of pneumatic transport systems, taking into account the criteria of similarity theory. This helps us to obtain consistent data characterizing the influence of the angle of inclination of the conical part of the bunker, a diameter of the discharge port and physical and mechanical properties of the medium on the process of gravitational motion of hogged wood and products on its basis. The dependences for calculating the slip velocity of wood particles on walls of the bunker, and changes of speed of particles in the granular medium in the hopper axis, its input and output boundaries are presented. The results of calculations of processes taking place in the bunker of the pneumatic transport system, obtained using the proposed equations of motion and the universal boundary condition for the vortex function, and experimental data are in good agreement. This allows carrying out a comparative analysis of the technical and economic efficiency of various design solutions.

Keywords: chipboard material, qasi-Newtonian fluid, coefficients of internal and external friction, ratio of apparent viscosity, flow function, vortex function.

REFERENCES

1. Geniev G.A. *Voprosy dinamiki sypuchey sredy* [Problems of the Dynamics of the Granular Medium]. Moscow, Gosstroyizdat Publ., 1958. 122 p. (In Russ.)
2. Jenike A.W., Johanson J.R., Carson J.W. Bin Loads. Part 2: Concepts. *Transactions of the American Society of Mechanical Engineers. Ser. B: Journal of Engineering for Industry*, 1973, vol. 95, iss. 1, pp. 1–5.
3. Krymasov V.N. Sypuchaya sreda kak model' nen'yutonovskoy zhidkosti [Granular Medium as a Model of Non-Newtonian Fluid]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Ser.: Atomno-vodorodnaya energetika i tekhnologiya* [Problems of Atomic Science and Technology], 1980, no. 2, pp. 138–141.
4. Krymasov V.N. *Dvizhenie sypuchey sredy kak nen'yutonovskoy zhidkosti: otchet IAE. Inv. № 35/248182* [The Motion of a Granular Medium as a Non-Newtonian Fluid: a Report of the Kurchatov Institute, No. 35/248182]. Moscow, 1982.
5. Krymasov V.N., Lozovetskiy V.V., Mordvintsev V.M. Raschet dvizheniya sferovykh tvelov v aktivnoy zone VTGR [Calculation of the Motion of Spherical Fuel Elements in the Active Zone of HTGR]. *Voprosy atomnoy nauki i tekhniki. Ser.: Atomno-vodorodnaya energetika i tekhnologiya* [Problems of Atomic Science and Technology], 1990, no. 2, pp. 44–46.
6. Lozovetskiy V.V., Krymasov V.N. *Gidromekhanicheskie i teplovye protsessy v yadernykh reaktorakh s mikrotvel'nym toplivom* [Hydro-Mechanical and Thermal Processes in Nuclear Reactors with Micro-Pebble Fuel]. Moscow, All-Russ. Institute of Scientific and Technical Information RAS Publ., 2003. 326–329 p. (In Russ.)
7. Nikolaevskiy V.N. Opredelyayushchie uravneniya plasticheskogo deformirovaniya sypuchikh sred [Defining Equations of Plastic Deformation of the Granular Media]. *Prikladnaya matematika i mekhanika* [Journal of Applied Mathematics and Mechanics], 1971, vol. 35, no. 6, pp. 1070–1082.
8. Potter D. *Computational Physics*. London, Wiley, 1973. 304 p.
9. Revuzhenko A.F. *Mekhanika uprugoplasticheskikh sred i nestandartnyy analiz* [Mechanics of Elastic-Plastic Media and Non-Standard Analysis]. Novosibirsk, NSU Publ., 2000. 426 p. (In Russ.)
10. Fikhtengol'ts G.M. *Kurs differentsial'nogo i integral'nogo ischisleniya. v 3 t.* [The Course of Differential and Integral Calculus. In 3 Vol.]. Moscow, Nauka Publ., 1969. 421 p. (In Russ.)
11. Bedenig D. Ein theoretisches Model zur Beschreibung des Kugelhaufen-FlieBverhaltens im Core eines Kugelhaufen-Reaktors. *Nuclear Engineering and Design*, 1967, vol. 6, iss. 5, pp. 479–488.

12. de Josselin de Jong G. The Double Sliding, Free Rotating Model for Granular Assemblies. *Geotechnique*, 1971, vol. 21, iss. 2, pp. 155–163.
13. Drucker D.C., Prager W. Soil Mechanics and Plastic Analysis or Limit Design. *Quarterly of Applied Mathematics*, 1952, vol. 10, iss. 2, pp. 157–165.
14. Goodman M.A., Cowin S.C. A Continuum Theory for Granular Materials. *Archive for Rational Mechanics and Analysis*, 1972, vol. 44, iss. 4, pp. 249–266.
15. Hill R. *The Mathematical Theory of Plasticity*. Oxford, Clarendon Press, 1956. 355 p.
16. Lilly D.K. On the Computational Stability of Numerical Solutions of Time-Dependent Non-Linear Geophysical Fluid Dynamics Problems. *Monthly Weather Review*, 1965, vol. 93, no. 1, pp. 11–26.

Received on September 24, 2017



УДК 676.054.6

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.109

ВЛИЯНИЕ ФИБРИЛЛИРОВАНИЯ И УКРОЧЕНИЯ ВОЛОКОН ПРИ РАЗМОЛЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРОЧНОСТИ, ДЕФОРМАТИВНОСТИ И ТРЕЩИНОСТОЙКОСТИ ЦЕЛЛЮЛОЗНЫХ МАТЕРИАЛОВ**В.В. Гораздова¹, асп.**Е.В. Дернова¹, канд. техн. наук, доц.**Д.А. Дулькин², д-р. техн. наук, ген. директор**Е.О. Окулова¹, асп.*

¹Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия, 163002;

e-mail: v.gorazdova@narfu.ru, e.dernova@narfu.ru, e.okulova@narfu.ru

²Управляющая компания «Объединенные бумажные фабрики», ул. Трудовая, д. 2, пос. Полотняный Завод, Дзержинский р-н, Калужская обл., Россия, 249844;

e-mail: dmdulkin@yandex.ru

Размол волокнистых материалов является одним из ключевых процессов обработки растительных волокон в целях придания им бумагообразующих свойств. При размолу растительных волокон в водной среде происходит как чисто механический (укорачивание и продольное расщепление волокон на фибриллы), так и коллоидно-химический (набухание и гидратация волокон) процессы. Цель работы – изучение влияния преимущественного укорачивающего или фибриллирующего размола, смоделированного в лабораторных условиях, на прочностные и деформационные характеристики волокнистых полуфабрикатов. Преимущественное укорочение волокон наблюдается при размолу массы низкой концентрации, в ходе которого на каждое волокно, попадающее между ножами размалывающего аппарата, приходится большее удельное давление. Для получения сильно фибриллированных волокон, напротив, следует подвергать размолу массу высокой концентрации, в процессе которого каждому волокну будет соответствовать меньшее удельное давление и большее взаимное трение волокон, способствующее их расчесыванию и расщеплению. В связи с этим моделирование укорачивающего или фибриллирующего размола при разной концентрации массы проведено в лабораторных условиях с использованием трех видов размалывающего оборудования – лабораторного ролла, мельниц Йокро и PFI. Объектами исследования служили образцы хвойной небеленой целлюлозы высокого и нормаль-

*При выполнении исследований использовалось оборудование Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера», Центра коллективного пользования научным оборудованием «Арктика» и лаборатории нанотехнологии кафедры теоретической физики Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова, созданных при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Для цитирования: Гораздова В.В., Дернова Е.В., Дулькин Д.А., Окулова Е.О. Влияние фибриллирования и укорочения волокон при размолу на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости целлюлозных материалов // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 109–121. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.109

ного выхода. Продемонстрирована возможность моделирования преимущественного укорачивания или фибриллирования волокон при лабораторном размоле, что позволяет целенаправленно изменять бумагообразующие свойства волокон и получать бумажный лист с заданными потребительскими свойствами.

Ключевые слова: размол, фибриллирование, укорачивание, целлюлоза высокого выхода, целлюлоза нормального выхода, прочность, деформативность, трещиностойкость.

Введение

Назначение размола – придание волокнам определенной структуры и размеров по длине и толщине, гибкости и пластичности, необходимой степени гидратации для обеспечения хорошего формования (просвета) и заданных свойств бумаги. При размоле полуфабрикатов механические процессы вызывают измельчение волокон и обуславливают структуру бумаги, а коллоидно-физические явления, происходящие в результате взаимодействия целлюлозы с водой, обеспечивают связь волокон в бумаге [7–9].

В процессе размола происходит разрушение межмолекулярных связей внутри клеточной стенки и образование зон смещения структурных элементов в волокнах, в результате чего возникают микротрещины, в которые проникает вода, в дальнейшем вступающая во взаимодействие со свободными гидроксильными группами целлюлозного комплекса. Расклинивающее действие воды приводит к более глубокому расщеплению волокон при размоле, увеличивая их гибкость и пластичность. Образование зон смещения в волокнах осуществляется вдоль клеточной стенки и может закончиться расщеплением ее на отдельные фрагменты.

Многими исследователями [11–17] показано, что в процессе размола происходит внешняя и внутренняя фибрилляция волокна. Внешняя фибрилляция заключается в полном или частичном отделении от волокна фибрилл, что способствует увеличению наружной поверхности волокон и числа свободных гидроксильных групп на их поверхности. Вместе с тем внешняя фибрилляция ослабляет прочность самого волокна. Внутренняя фибрилляция приводит к необратимым перегруппировкам структурных элементов внутри набухшей вторичной стенки волокна, не уменьшая его прочности. Процессы внешнего и внутреннего фибриллирования трудно разделить, так как они тесно взаимосвязаны. Косвенно степень внешней фибрилляции оценивают обычно по изменению наружной поверхности волокон, внутренней – по их гибкости.

В процессе размола волокно подвергается также укорачиванию. При размоле жесткие целлюлозные волокна преимущественно фибриллируются, а мягкие укорачиваются, хотя этот процесс в значительной степени определяется режимом (условиями) размола [19, 20, 24].

Цель данной работы – исследование влияния преимущественного укорачивающего или фибриллирующего размола, смоделированных в лабораторных условиях, на характеристики прочности, деформативности и трещиностойкости волокнистых полуфабрикатов.

Объекты и методы исследования

Моделирование различного характера разработки волокон при размоле (преимущественного укорачивания или фибриллирования) осуществляли при помощи следующего лабораторного оборудования:

ролл (концентрация массы 1,0 %) – для большей рубки волокон при двух значениях прижима по механическому воздействию (ролл_{min} и ролл_{max});

мельница Йокро (6,0 %) – для получения промежуточного характера помола волокон (укорочение и фибриллирование примерно в равной степени);

мельница PFI (10,0 %) – для большего фибриллирующего воздействия на волокна в режиме присадки (PFI_{max} = 2,25 мм) и отсадки (PFI_{min} = 7,00 мм) барабана.

В качестве объектов исследования использовали хвойную целлюлозу нормального и высокого выхода (ЦВВ). Полуфабрикаты во всех размалывающих аппаратах размалывали до степени помола 25 °ШР. Для оценки прочностных и деформационных свойств исследуемых полуфабрикатов изготавливали лабораторные образцы массой 100 г/м².

Для определения структурно-морфологических характеристик волокон использовали анализатор свойств волокна системы Fiber Tester, разработанный компанией «Lorentzen & Wettre». С помощью этого прибора оценивали следующие показатели: длина и ширина волокна (l , мм, и w , мкм); средний фактор формы (F , %); доля мелочи (M , %); грубость волокна (G , мкг/м); средний угол излома ($Y_{изл}$); количество изломов на волокно (N_v); средняя длина сегмента ($l_{сегм}$, мм).

Стандартные лабораторные образцы (отливки) из предварительно подготовленной волокнистой массы изготавливали в соответствии с ГОСТ 14363.4–89 на листоотливном аппарате типа Rapid-Köthen BBS-2 Estantit [4].

Прочность волокон в структуре образцов (P_0 , Н/см) определяли на приборе The Pulmac Zero-Span Tensile Tester согласно TAPPI T 231 sm-96 и TAPPI T 273 pm-95 [22, 23].

Величину межволоконных сил связи ($F_{св}$, МПа) устанавливали по методу С.Н. Иванова путем измерения внешнего усилия, необходимого для сдвига в плоскости соприкосновения слоев двухслойных отливок массой 1 м² каждого слоя 100 г.

Показатели качества лабораторных образцов исследовали, используя стандартные методы:

толщину образцов – по ГОСТ 27015–86 [5];

прочность на разрыв и удлинение при растяжении – по ГОСТ 13525.1–79 [1] при помощи лабораторного испытательного комплекса, включающего разрывную машину ТС 101-0,5 (г. Иваново) и ПЭВМ. Программное обеспечение Комплекс для математической обработки индикаторной диаграммы «нагрузка–удлинение» позволяет рассчитывать такие характеристики, как плотность (ρ , г/см³); напряжение при разрушении (σ_p , МПа); деформация разрушения (ϵ_p , %); разрывная длина (L , м); работа разрушения (A_p , мДж) [10];

прочность на излом при многократных перегибах (N , ч.д.п.) – по ГОСТ 13525.2–80 на приборе марки FRANK-PTI [2];

сопротивление продавливанию (Π , кПа) – по ГОСТ 13525.8–80 на приборе марки Lorentzen & Wettre [3];

сопротивление сжатию на коротком расстоянии (SCT , кН/м) – по ГОСТ Р ИСО 9895–2013 на приборе марки FRANK-PTI [6];

трещиностойкость (FT , Дж/м) – согласно ISO/TS 17958:2013 на приборе марки Lorentzen & Wettre [18, 21].

Результаты исследования и их обсуждение

Сравнительный микроскопический анализ образцов полуфабрикатов до и после лабораторного размола наглядно демонстрирует различный характер помола волокон в зависимости от вида размалывающего аппарата (рис. 1).

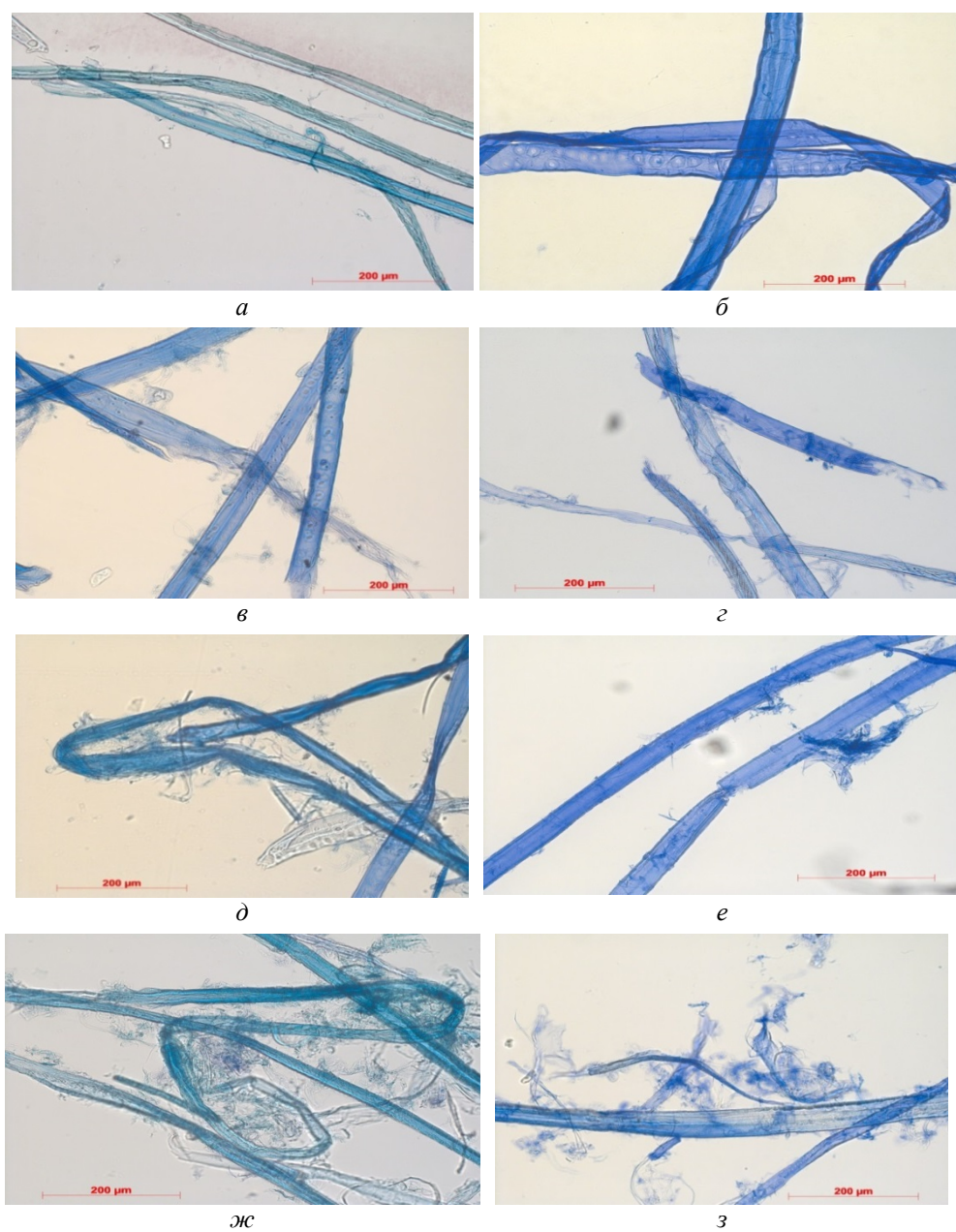


Рис. 1. Микрофотографии волокон полуфабрикатов до размола (а, б), после размола в ролле (в, г), мельницах Йокро (д, е) и PFI (ж, з): а, в, д, ж – ЦВВ; б, г, е, з – целлюлоза нормального выхода

Количественный анализ изменения структурно-морфологических свойств волокон в исследуемых условиях размола представлен в табл. 1.

Таблица 1
Результаты, полученные на анализаторе волокна Fiber Tester для ЦВВ и целлюлозы нормального выхода

Образец	l, мм	w, мкм	F	M	Г, мкг/м	У _{изл}	N _в	l _{сегм} , мм
			%					
<i>Целлюлоза высокого выхода</i>								
Исходный	2,41	32,7	89	2,4	192	52	0,444	1,99
После размола:								
ролл _{max}	2,01	33,4	90	8,2	162	52	0,316	1,79
ролл _{min}	2,02	33,0	91	7,9	156	51	0,241	1,87
ЦРА	2,18	32,8	89	7,0	168	56	0,396	1,88
PFI _{min}	2,23	32,9	86	6,6	145	54	0,709	1,70
PFI _{max}	2,21	32,8	86	7,3	156	54	0,694	1,70
<i>Целлюлоза нормального выхода</i>								
Исходный	2,26	30,0	82	4,9	199	56	1,239	1,25
После размола:								
ролл _{max}	1,75	30,4	89	6,4	147	52	0,443	1,48
ролл _{min}	2,09	29,6	89	5,3	146	55	0,359	1,84
ЦРА	1,77	27,8	87	4,7	143	55	0,571	1,38
PFI _{min}	2,13	29,9	83	4,2	131	57	0,859	1,48
PFI _{max}	2,12	29,7	84	4,1	145	57	0,959	1,41

В целом исходные (неразмолотые) волокна хвойных полуфабрикатов отличаются лентообразной формой с тупыми или заостренными концами и узкими полостями, наличием окаймленных пор. Длина волокон в среднем составляет 2,2...2,4 мм, ширина – около 30 мкм.

Волокна ЦВВ в силу технологии производства характеризуются более высокими значениями длины, ширины и фактора формы и относительно низкими значениями доли мелочи и степени дефектности волокон по сравнению с волокнами целлюлозы нормального выхода.

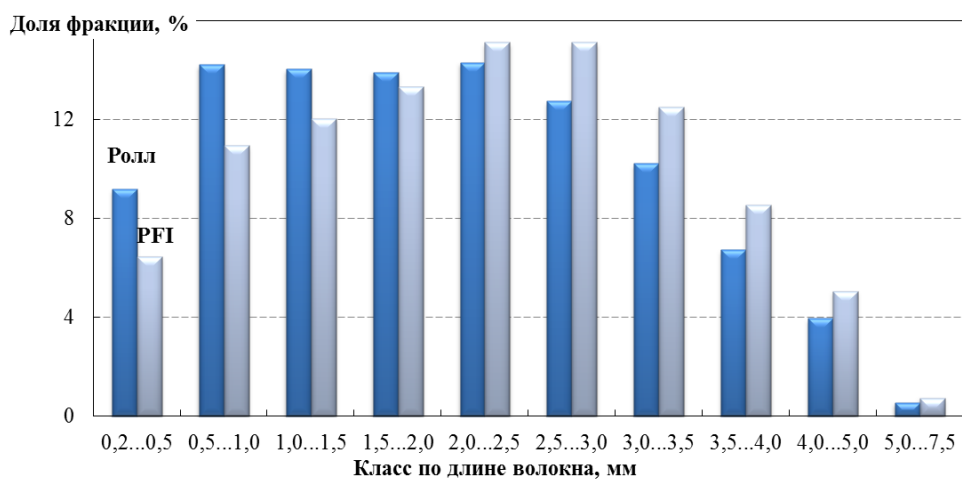
Проведение процесса размола в трех разных размалывающих аппаратах до одинаковой степени помола волокон позволило смоделировать характер их разработки. При размоле полуфабрикатов в ролле наблюдаются снижение их длины на 17 % для ЦВВ и 23 % для целлюлозы нормального выхода и закономерное существенное повышение доли мелкой фракции (в 3,5 и 1,3 раза соответственно). При этом отмечается «выпрямление» волокон (фактор формы для обоих видов полуфабрикатов составил 89...91 %) за счет обрывания крайних сегментов, о чем, в свою очередь, свидетельствует уменьшение числа изломов на волокне.

Противоположный характер разработки волокон получен при проведении процесса размола в мельнице PFI. Высокая концентрация массы при размоле обуславливает разработку поверхности волокон с сохранением их длины. Так, при размоле ЦВВ и целлюлозы нормального выхода до 25 °ШР отмечено снижение средней длины волокон лишь на 8 и 6 % соответственно. Преимущес-

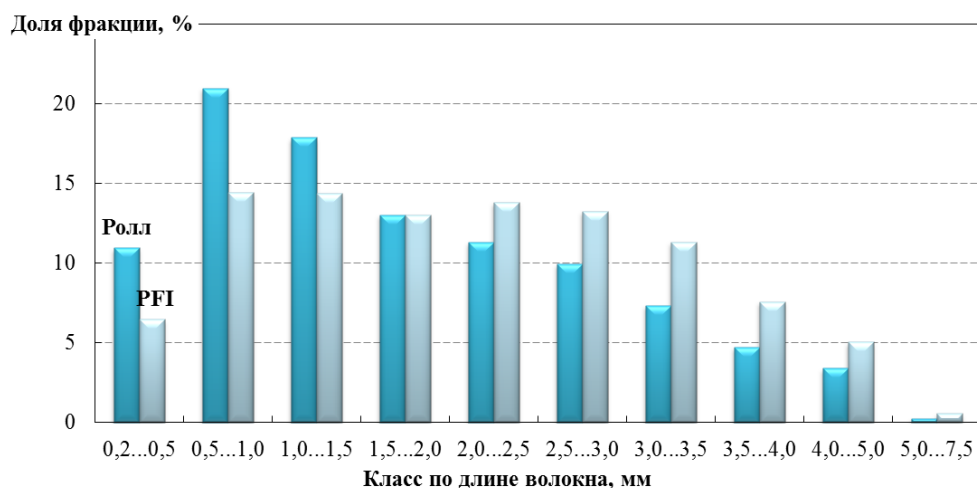
твенное фибриллирующее воздействие подтверждается изменением гибкости (фактор формы и число изломов на волокне) и грубости волокон, которая уменьшается от 192...199 до 131...145 мкг/м в данных условиях размола.

Данные об изменении свойств волокон в процессе размола в мельнице Йокро логично занимают промежуточное положение. Обработка волокон в этом аппарате в большей степени оказывает влияние на изменение свойств целлюлозы нормального выхода, что обусловлено более интенсивной степенью воздействия на клеточную стенку в процессе глубокой варки.

Дополнительным подтверждением преимущественного укорачивания или фибриллирования волокон при моделировании процесса размола полуфабрикатов в различных размалывающих аппаратах являются данные о распределении фракций волокон по длине в ролле и мельнице PFI (рис. 2).

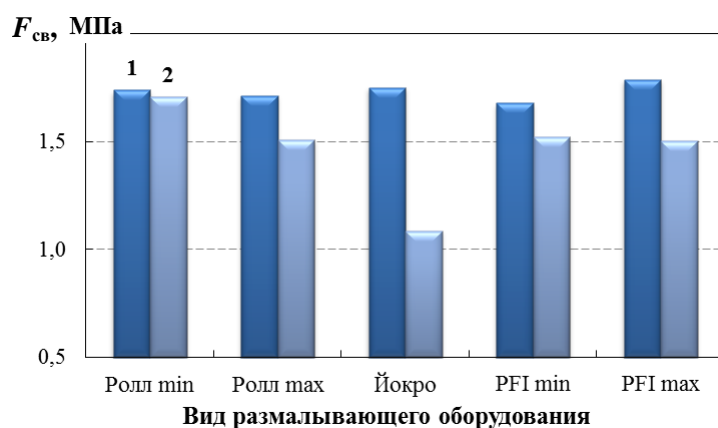


a

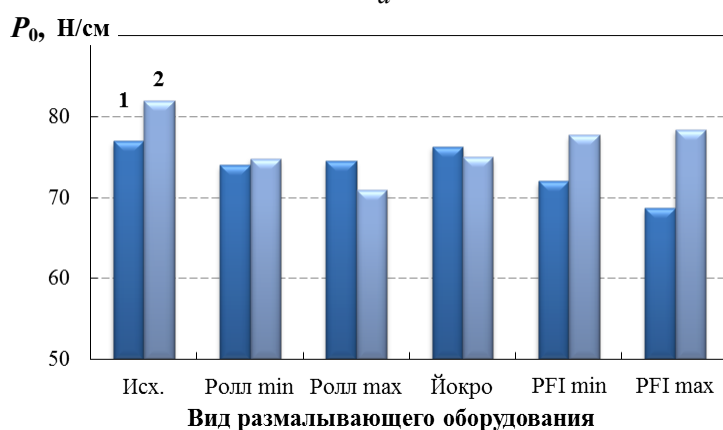


б

Рис. 2. Фракционный состав полуфабрикатов после размола: *a* – ЦВВ; *б* – целлюлоза нормального выхода



а



б

Рис. 3. Изменение интенсивности межволоконных взаимодействий (а) и собственной прочности волокон (б) полуфабрикатов после размола: 1 – ЦВВ; 2 – целлюлоза нормального выхода (исх. – исходный образец)

На рис. 3 представлено изменение фундаментальных свойств волокон (интенсивности межволоконных взаимодействий $F_{св}$ и собственной прочности P_0) в моделируемых процессах размола полуфабрикатов.

Отметим, что любой режим размола приводит к снижению прочности волокон в образцах ЦВВ. В большей степени отрицательный эффект размола для данного полуфабриката проявляется при проведении процесса, направленного на преимущественное фибриллирование волокон (P_0 снижается на 11 %). Это, очевидно, обусловлено наличием в технологии получения ЦВВ стадии горячего размола, которая приводит к росту дефектности волокон. Высокая концентрация массы при моделировании фибриллирующего размола, в свою очередь, провоцирует снижение прочности волокон и их разрушение по местам дефектов, о чем свидетельствует повышенная доля мелочи в полуфабрикате.

В случае целлюлозы нормального выхода фибриллирующий характер размола позволяет сохранить прочность волокон на достаточно высоком уровне, что обусловлено повышенной гибкостью длинных лентообразных волокон целлюлозы с низким остаточным содержанием лигнина. Такие волокна

в большей степени подвержены рубящему действию размалывающей гарнитуры, но легче поддаются внутреннему фибриллированию без критичного нарушения целостности клеточной стенки.

Как укорачивающий, так и фибриллирующий характер размола волокон увеличивает уровень межволоконных сил связи в образцах. В большей степени данный эффект наблюдается у образцов целлюлозы нормального выхода, что является логичным следствием повышенной гибкости и существенного снижения грубости трахеид в условиях глубокой сульфатной варки. Наименьший уровень межволоконных сил связи отмечен у образцов, размолотых в мельнице Йокро, так как данный размалывающий аппарат обеспечивает «мягкое» воздействие на волокно с позиции не только его укорочения, но и фибриллирования и в меньшей степени интенсифицирует развитие межволоконных взаимодействий.

Уровень значений характеристик прочности, деформативности и трещиностойкости исследуемых полуфабрикатов в зависимости от характера помола волокна представлен в табл. 2.

Таблица 2

Показатели физико-механических свойств лабораторных образцов ЦВВ и целлюлозы нормального выхода

Размалывающее оборудование	ρ , г/см ³	σ_p , МПа	ε_p , %	L , м	FT , Дж/м	A_p , мДж	N , ч.д.п.	SCT , кН/м	Π , кПа
<i>Целлюлоза высокого выхода</i>									
Ролл _{min}	0,377	37,7	2,71	8 950	0,367	219	980	3,84	640
ЦРА	0,399	39,5	2,84	9 200	0,505	237	1 100	4,24	720
PFI _{min}	0,395	37,2	3,06	9 450	0,456	252	2 390	4,02	700
<i>Целлюлоза нормального выхода</i>									
Ролл _{min}	0,754	80,8	3,00	10 800	0,811	272	2 930	4,18	610
ЦРА	0,755	70,3	3,93	9 300	0,976	311	2 720	3,47	800
PFI _{min}	0,833	83,9	3,42	10 100	0,813	314	3 600	3,83	780

В целом для целлюлозы нормального выхода в моделируемых процессах размола оптимальный характер разработки волокон с позиций их средней длины и прочности наблюдается при преимущественном фибриллировании волокон. Такие лабораторные образцы целлюлозы отличаются наивысшей прочностью (σ_p , A_p , N) и трещиностойкостью (FT), что связано с уплотнением структуры образцов (ρ), повышением их равномерности и сомкнутости за счет разработки волокон. Для целлюлозы нормального выхода максимальная деформационная способность (ε_p) отмечена в случае проведения процесса размола в мельнице Йокро, которая обеспечивает получение массы с оптимально укороченными и фибриллированными волокнами одновременно.

Свойства ЦВВ изменяются незначительно из-за сохранности исходного лигноуглеводного комплекса клеток древесины в условиях короткой варки.

Для ЦВВ проведение размола в мельнице Йокро позволяет, с одной стороны, сохранить на достаточно высоком уровне среднюю длину и собственную прочность волокон, с другой – интенсифицировать развитие межволоконных взаимодействий. В совокупности данные факторы приводят к получению максимальных значений показателей качества ЦВВ (сопротивление

продавливанию, сопротивление сжатию по методу *SCT*, трещиностойкость). Максимальные значения разрывной длины, сопротивления излому, работы и деформации разрушения закономерно обнаруживаются в случае преимущественного фибриллирования волокон при размол в мельнице PFI при сохранении их длины.

Проведение процесса размол ЦВВ в лабораторном ролле, т. е. с выделением преимущественной рубки волокон, не позволяет получить высокий уровень значений ни по одному исследуемому показателю.

Заключение

Установлено, что размол волокнистых полуфабрикатов существенно влияет на равномерность макроструктуры бумаги, поскольку изменяет содержание мелкой фракции, среднюю длину волокон, их прочность, гибкость и способность к связеобразованию.

Показано, что при размол волокнистых полуфабрикатов в лабораторном ролле (при низкой концентрации массы) укорачивание волокон происходит в большей степени, в мельнице Йокро наравне с укорочением наблюдается фибриллирование клеточных стенок, в мельнице PFI (при высокой концентрации массы) в основном происходит фибриллирование волокон с образованием небольшого количества обрывков и мелких элементов.

Представлена возможность различных вариаций размол в целях придания готовой продукции требуемых физико-механических показателей полуфабрикатов для бумаги и картона.

Продемонстрирована простота и легкость моделирования размол в лабораторных условиях с преимущественным выделением определенного характера размол, что позволяет добиваться заданных бумагообразующих свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 13525.1–79. Полуфабрикаты волокнистые, бумага, картон. Метод определения прочности на разрыв и удлинение при растяжении. Взамен ГОСТ 13525.1–68; введ. 1980-07-01. М.: Стандартиформ, 2007. 5 с.
2. ГОСТ 13525.2–80. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения прочности на излом при многократных перегибах. Взамен ГОСТ 13525.2–68; введ. 1981-06-30. М.: Стандартиформ, 2007. 4 с.
3. ГОСТ 13525.8–86. Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения сопротивления продавливанию. Взамен ГОСТ 13525.8–78, ГОСТ 13648.7–784; введ. 1988-01-01. М.: Стандартиформ, 2007. 6 с.
4. ГОСТ 14363.4–89. Целлюлоза. Метод подготовки проб к физико-механическим испытаниям. Взамен ГОСТ 14363.4–79; введ. 1993-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1993. 14 с.
5. ГОСТ 27015–86. Бумага и картон. Методы определения толщины, плотности и удельного объема. Взамен ГОСТ 13199–67, ГОСТ 12432–77; введ. 1988-01-01. М.: Изд-во стандартов, 2002. 4 с.
6. ГОСТ Р ИСО 9895–2013. Бумага и картон. Определение сопротивления сжатию. Метод испытания на коротком расстоянии между зажимами. Введ. 2015-01-01. М.: Стандартиформ, 2014. 12 с.
7. Дулькин, Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И., Блинова Л.А. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона: моногр., под ред. В.И. Комарова. Архангельск: САФУ, 2011. 176 с.

8. Дьякова Е.В., Комаров В.И., Носкова Е.С. Устойчивость к иницированию и росту трещин в структуре целлюлозно-бумажных материалов // Лесн. журн. 2007. № 1. С. 126–141. (Изв. высш. учеб. заведений)
9. Иванов С.Н. Технология бумаги. 3-е изд. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.
10. Казаков Я.В., Комаров В.И. Программное обеспечение лабораторного испытательного комплекса для оценки деформативности и прочности целлюлозно-бумажных материалов. Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ. № 2001610526 от 10 мая 2001 г.
11. Карлссон Х. Гид по волокну. Анализ волокна и его применение в ЦБП: справочное руководство. Швеция: АВ Lorentzen & Werrte, 2006. 118 с.
12. Кларк Дж. Технология целлюлозы (наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка ее на бумагу, методы испытаний). М.: Лесн. пром-сть, 1983. 456 с.
13. Комаров В.И., Казаков Я.В. Связь фундаментальных свойств (по Кларку) неразмолотой сульфатной небеленой целлюлозы с характеристиками деформативности и прочности // Лесн. журн. 1993. № 2-3. С. 112–116. (Изв. высш. учеб. заведений).
14. Комаров В.И., Казаков Я.В. Влияние размолла на корреляцию фундаментальных свойств (по Кларку) сульфатной небеленой целлюлозы с характеристиками деформативности и прочности // Актуальные проблемы рационального использования природных и энергетических ресурсов Европейского Севера: сб. науч. тр. Архангельск: АЛТИ, 1994. С. 105–111.
15. Лумиайнен Д., Пузырев С.С., Чижов Г.И. Размол при низкой концентрации М.: Изд-во ЦИНТИхимнефтемаш, 1992. 23 с. (Целл.-бум. машиностроение: обзор. информ.).
16. Материалы компании «Advanced Fiber Technology» (AFT): информ. сообщение // 8-й Междунар. науч.-техн. конф. «Pap-Fog». СПб., 2004. 217 с.
17. Пузырев С.С., Коростелев С.А., Ковалева О.П. Размол при низкой концентрации // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2006. № 5. С. 54–58.
18. ISO/TS 17958:2013. Paper and Board. Determination of Fracture Toughness. Constant Rate of Elongation Method. Technical Committee, Subcommittee SC 2, 2013. 16 p.
19. Mäkelä P., Fellers C. An Analytic Expression for Determination of Fracture Toughness of Paper Materials // Innventia Report. 2010. No. 54.
20. Mäkelä P., Nordhagen H., Gregersen Ø.W. Validation of Isotropic Deformation Theory of Plasticity for Fracture Mechanics Analysis of Paper Materials // Nordic Pulp Paper Res. J. 2009. No. 24. Pp. 388–394.
21. SCAN-P77-95. Papers and Boards. Fracture Toughness. Scandinavian Pulp, Paper and Board. Testing Committee. 8 p.
22. TAPPI Standard T 231 pm-96. Zero-Span Breaking Strength of Pulp (Dry Zero-Span Tensile). Test Method T 231 cm-07. Atlanta, USA: TAPPI Press, 1996.
23. TAPPI T Standard 273 pm-95. Wet Zero-Span Tensile Strength of Pulp. Atlanta, USA: TAPPI Press, 1995.
24. Varanasi S., Batchelor W.J. Rapid Preparation of Cellulose Nanofibre Sheet // Cellulose. 2013. Vol. 20, no. 1. Pp. 211–215.

UDC 676.054.6

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.109

The Effect of Fiber Brushing and Shortening when Beating on the Strength, Deformation and Fracture Toughness Properties of Cellulosic Materials*V.V. Gorazdova¹, Postgraduate Student**E.V. Dernova¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**D.A. Dul'kin², Doctor of Engineering Sciences, General Director**E.O. Okulova¹, Postgraduate Student*¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Naberezhnaya Severnoy Dviny, 17, Arkhangelsk, 163002, Russian Federation;

e-mail: v.gorazdova@narfu.ru, e.dernova@narfu.ru, e.okulova@narfu.ru

²United Paper Factories, ul. Trudovaya, 2, Polotnyanny Zavod village, Dzerzhinskiy district, Kaluga region, 249844, Russian Federation; e-mail: dmdulkin@yandex.ru

Beating of fibrous materials is one of the key stages of plant fibers processing in order to obtain paper-forming properties. When beating plant fibers in an aqueous medium we can observe two main processes: a purely mechanical (fiber shortening and longitudinal splitting into fibrils) and colloid-chemical (fiber swelling and hydration). The goal of research is to study the effect of the preferential shortening or fibrillating beating simulated in laboratory conditions on the strength and deformation characteristics of fibrous semifinished products. A preferential shortening of fibers occurs when thin stock beating and each fiber entering between the knives of the beater has a higher specific pressure. To obtain highly fibrillated fibers, by contrast, thick stock should be subjected to beating, and each fiber comes under minimal specific pressure and a greater mutual frequency of fibers, which facilitates their combing and splitting. Simulation of shortening or fibrillating beating at different mass concentration is conducted in laboratory conditions using three types of beaters – laboratory beating engine, Jokro mills and PFI. The study subjects are the samples of coniferous unbleached high-yield and average-yield pulp. The paper demonstrates the possibility of simulation of fiber preferential shortening or fibrillation under circumstances of laboratory beating. This allows purposefully modifying papermaking characteristics of fibers and obtaining a paper sheet with desired application properties.

Keywords: beating, brushing, shortening, high-yield pulp, average-yield pulp, strength, deformability, fracture toughness.

REFERENCES

1. *GOST 13525.1–79. Polufabrikaty voloknistye, bumaga, karton. Metody opredeleniya prochnosti na razryv i udlinenie pri rastyazhenii* [State Standard 13525.1–79. Fibre Semimanufactures, Paper and Board. Tensile Strength and Elongation Tests]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 5 p.

2. *GOST 13525.2–80. Polufabrikaty voloknistye, bumaga i karton. Metod opredeleniya prochnosti na izlom pri mnogokratnykh peregibakh* [State Standard 13525.2–80. Fibre Semimanufactures, Paper and Board. Method for Determination of Breaking Strength]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 4 p.

3. *GOST 13525.8–86. Polufabrikaty voloknistye, bumaga i karton. Metod opredeleniya soprotivleniya prodavlivaniyu* [State Standard 13525.8–86. Fibre Intermediate Products, Paper and Board. Method for Determination of Resistance to Bursting]. Moscow, Standartinform Publ., 2007. 6 p.

For citation: Gorazdova V.V., Dernova E.V., Dul'kin D.A., Okulova E.O. The Effect of Fiber Brushing and Shortening when Beating on the Strength, Deformation and Fracture Toughness Properties of Cellulosic Materials. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 109–121. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.109

4. GOST 14363.4–89. *Tsellyuloza. Metod podgotovki prob k fiziko-mekhanicheskim ispytaniyam* [State Standard 14363.4–89. Pulp. Preparation of Samples for Physical and Mechanical Tests]. Moscow, Standartinform Publ., 1993. 14 p.

5. GOST 27015–86. *Bumaga i karton. Metody opredeleniya tolshchiny, plotnosti i udel'nogo ob'ema* [State Standard 27015–86. Paper and Board. Methods for Determining Thickness, Density and Specific Volume]. Moscow, Standartinform Publ., 2002. 4 p.

6. GOST R ISO 9895–2013. *Bumaga i karton. Opredelenie soprotivleniya szhatiyu. Metod ispytaniya na korotkom rasstoyanii mezhdz zazhimami* [State Standard R ISO 9895–2013. Paper and Board. Compressive Strength. Short-Span Test]. Moscow, Standartinform Publ., 2014. 12 p.

7. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I., Blinova L.A. *Svoystva tsellyuloznykh volokon i ikh vliyanie na fiziko-mekhanicheskie kharakteristiki bumagi i kartona* [Properties of Cellulose Fibers and Their Influence on the Physical and Mechanical Characteristics of Paper and Paperboard]. Ed. by V.I. Komarov. Arkhangelsk, NARFU Publ., 2011. 176 p. (In Russ.)

8. D'yakova E.V., Komarov V.I., Noskova E.S. *Ustoychivost' k initsirovaniyu i rostu treshchin v strukture tsellyulozno-bumazhnykh materialov* [Stability to Crack Initiating and Growth in Structure of Pulp-and-paper Materials]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2007, no. 1, pp. 126–141.

9. Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow, Shkola bumagi Publ., 2006. 696 p. (In Russ.)

10. Kazakov Ya.V., Komarov V.I. *Programmnoe obespechenie laboratornogo ispytatel'nogo kompleksa dlya otsenki deformativnosti i prochnosti tsellyulozno-bumazhnykh materialov* [The Software of the Laboratory Test Complex for the Deformability and Strength Assessment of Pulp-and-Paper Materials]. Certificate of the Computer Software Official Registration, no. 2001610526, 2001.

11. Karlsson H. *Fiber Guide. Fiber Analysis and Process Applications in the Pulp and Paper Industry*. Kista, Sweden, AB Lorentzen & Werre, 2006. 120 p.

12. Clark J. d'A. *Pulp Technology and Treatment for Paper*. San Francisco, M. Freeman Publ., 1978. 751 p.

13. Komarov V.I., Kazakov Ya.V. *Svyaz' fundamental'nykh svoystv (po Klarku) n razmolotoy sul'fatnoy nebelenoy tsellyulozy s kharakteristikami deformativnosti i prochnosti* [Relationship of Fundamental Properties (According to Clark) of Unrefined Sulphate Unbleached Cellulose with Deformation and Strength Properties]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 1993, no. 2-3, pp. 112–116.

14. Komarov V.I., Kazakov Ya.V. *Vliyanie razmola na korrelyatsiyu fundamental'nykh svoystv (po Klarku) sul'fatnoy nebelenoy tsellyulozy s kharakteristikami deformativnosti i prochnosti* [Influence of Beating on the Correlation of Fundamental Properties (According to Clark) of Sulphate Unbleached Pulp with Deformation and Strength Properties]. *Aktual'nye problemy ratsional'nogo ispol'zovaniya prirodnykh i energeticheskikh resursov Evropeyskogo Severa* [Actual Problems of Rational Use of Natural and Energy Resources of the European North]. Arkhangelsk, ASTU Publ., 1994, pp. 105–111. (In Russ.)

15. Lumiaynen D., Puzyrev S.S., Chizhov G.I. *Razmol pri nizkoy kontsentratsii* [Beating under Circumstances of Low Concentration]. Moscow, TsINTIkhimneftemash Publ., 1992. 23 p. (In Russ.)

16. Materialy kompanii «Advanced Fiber Technology» [Reports of “Advanced Fiber Technology”]. *8-ya Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf. «Pap-For»* [8th Intern. Sci. Techn. Conf. “Pap-For”]. Saint Petersburg, 2004. 217 p. (In Russ.)

17. Puzyrev S.S., Korostelev S.A., Kovaleva O.P. *Razmol pri nizkoy kontsentratsii* [Grinding under Circumstances of Low Concentration]. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton* [Pulp. Paper. Board], 2006, no. 5, pp. 54–58.

18. ISO/TS 17958:2013. *Paper and Board. Determination of Fracture Toughness. Constant Rate of Elongation Method*. Technical Committee, Subcommittee SC 2, 2013. 16 p.

19. Mäkelä P., Fellers C. *An Analytic Expression for Determination of Fracture Toughness of Paper Materials*. *Innventia Report*, 2010, no. 54.

20. Mäkelä P., Nordhagen H., Gregersen Ø.W. Validation of Isotropic Deformation Theory of Plasticity for Fracture Mechanics Analysis of Paper Materials. *Nordic Pulp Paper Res. J.*, 2009, no. 24, pp. 388–394.

21. SCAN-P77-95. *Papers and Boards. Fracture Toughness. Scandinavian Pulp, Paper and Board*. Testing Committee. 8 p.

22. TAPPI Standard T 231 pm-96. *Zero-Span Breaking Strength of Pulp (Dry Zero-Span Tensile). Test Method T 231 cm-07*. Atlanta, USA, TAPPI Press, 1996.

23. TAPPI T Standard 273 pm-95. *Wet Zero-Span Tensile Strength of Pulp*. Atlanta, USA, TAPPI Press, 1995.

24. Varanasi S., Batchelor W.J. Rapid Preparation of Cellulose Nanofibre Sheet. *Cellulose*, 2013, vol. 20, no. 1, pp. 211–215.

Received on October 24, 2017

УДК 544.54:678.743

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.122

МОДИФИКАЦИЯ СВОЙСТВ ПРИРОДНЫХ ЦЕЛЛЮЛОЗОСОДЕРЖАЩИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ФТОРСОПОЛИМЕРАМИ И ТЕЛОМЕРАМИ ТЕТРАФТОРЭТИЛЕНА*

А.Н. Иванкин¹, д-р хим. наук, проф.

В.Г. Санаев¹, д-р техн. наук, проф.

Г.А. Горбачева¹, канд. техн. наук, доц.

А.К. Агеев¹, студ.

Д.П. Кирюхин², д-р хим. наук, проф.

Г.А. Кичигина², канд. хим. наук, ст. науч. сотр.

П.П. Куц², канд. хим. наук, ст. науч. сотр.

¹Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 1-я Институтская ул., д. 1, г. Мытищи, Московская область, Россия, 141005; e-mail: aivankin@inbox.ru, aivankin@mgul.ac.ru

²Институт проблем химической физики РАН, просп. акад. Семенова, д. 1, г. Черноголовка, Московская область, Россия, 142432

Изучен процесс поверхностной модификации фторированными полимерами целлюлозосодержащих материалов, в качестве которых использовали древесный шпон и бумагу. Для модификации свойств материалов применяли растворы сополимера гексафторпропилена с винилиденфторидом марки Ф-26, а также растворы радиационно-синтезированных теломеров тетрафторэтилена марки «Черфлон» (ТФ-4). Изучены изменения физико-механических свойств обработанных и необработанных материалов, а также защитное воздействие нанесенных фторполимеров на огнестойкость и способность изучаемых объектов удерживать внутренние химические компоненты, входящие в состав композитов, при их модельной экстракции органическими растворителями (смесь метанола с хлороформом). Прочность при растяжении вдоль волокон, обработанных 5 %-м раствором Ф-26 образцов сосны, бука и березы, составила соответственно 136, 158 и 140 МПа, а обработанных ТФ-4 – 145, 162, 148 МПа против 103, 140 и 136 МПа у исходных образцов. Установлено, что поверхностная обработка на 20...45 % упрочняет бумажные образцы. Исследование экстрагируемости защищенных материалов методом хромато-масс-спектрометрии показало, что нанесение защитной поверхностной пленки фторполимеров на 10...150 % снижает возможные потери веществ в экстракт, а также изменяет химический состав экстрагируемой композиции, в которой преобладают соединения природных жирных кислот, карбонитрилов, бензофуранов, амидов и хинонов. Испытание прямого

*Работа выполнена при поддержке Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 55 «Арктика – научные основы новых технологий освоения, сохранения и развития» и 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».

Для цитирования: Иванкин А.Н., Санаев В.Г., Горбачева Г.А., Агеев А.К., Кирюхин Д.П., Кичигина Г.А., Куц П.П. Модификация свойств природных целлюлозосодержащих композиционных материалов фторсополимерами и теломерами тетрафторэтилена // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 122–132. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.122

воздействия пламени на целлюлозосодержащие материалы подтвердило, что нанесение фторированного покрытия на 20...50 °С увеличивает их огнестойкость и позволяет варьировать декоративные свойства материалов.

Ключевые слова: древесный шпон, бумага, сополимер гексафторпропилена с винилиденфторидом, Ф-26, теломеры тетрафторэтилена, ТФ-4.

Введение

Целлюлозосодержащие материалы достаточно давно используются в виде деловой древесины и продукта ее глубокой химической переработки – бумаги [3,10].

Уникальные свойства природной целлюлозы в составе композитов на ее основе в ряде случаев нуждаются в существенной модификации, поскольку недостаточно высокая термо- и теплостойкость, а также невысокая химическая устойчивость ограничивают потенциальные области применения этих композитов. Относительная дешевизна данных материалов и возобновляемый источник их получения делает целлюлозосодержащие композиты одними из самых распространенных [4].

Существующие ныне синтетические полимеры позволяют «подправлять природу» и получать материалы практически с любыми свойствами. В силу значимости перечисленных выше недостатков ряд синтетических полимеров можно рассматривать как потенциальный резерв «модификаторов природы». К ним можно отнести фторопласты [1, 2, 5–7]. Их высокая термическая устойчивость к агрессивным средам и внешнему воздействию позволяет рассматривать фторполимеры как перспективные модификаторы свойств композитов широкого спектра применения [7, 8].

Композиционные материалы на основе древесного шпона и фторированных полимеров могут найти применение в качестве материалов для инкрустирования элитных художественных панно. Целлюлозосодержащие пленки на основе бумаги и фторполимеров могут использоваться в качестве конденсаторных бумаг высокочастотных электрических устройств.

Существенным недостатком большинства фторполимеров является их ограниченная растворимость, что не позволяет в полной мере реализовывать существующие технические решения для получения диспергированных композиционных материалов [9, 10, 12, 13].

Определенный интерес представляют сополимер гексафторпропилена с винилиденфторидом – $[\text{CF}_2\text{-CF}(\text{CF}_3)]_x[\text{CF}_2\text{-CH}_2]_y$ (Ф-26) и теломеры тетрафторэтилена (ТФ-4). Последние получают радиационно-химическим синтезом мономера в различных растворителях [1]. В результате происходит образование короткоцепочечных фторсодержащих соединений с различными функциональным концевыми звеньями – $\text{A}[\text{CF}_2\text{-CF}_2]_z\text{B}$. Значение $z = 5\text{...}100$ и концевые звенья (А, В) определяются условиями проведения синтеза и химической природой применяемого растворителя. В настоящей работе использованы теломеры тетрафторэтилена, полученные в растворе ацетона ($z = 5\text{...}30$; концевые звенья –Н, – CH_2COCH_3) в специально разработанном реакторе [2]. Растворы ТФ-4 используются для создания тонких защитных гидрофобных, антифрикционных, термостойких покрытий и композитов со свойствами, аналогичными тефлону [1, 2, 5], в том числе и для получения высокодиспергированных целлюлозосодержащих композитов [11, 14, 15].

Цель работы – изучение эффекта поверхностной модификации целлюлозосодержащих материалов (древесина, бумага) фторированными сополимерами.

Объекты и методы исследования

В работе использовали образцы бумаги писчей (плотность 80 г/м², толщина 0,1 мм) и газетной (толщина 0,07 мм), древесный шпон буковый, сосновый, березовый (толщина 0,5 мм).

В качестве модифицирующих фторопластов применяли сополимер Ф-26 (ТУ 6-05-1706–85) с молекулярной массой $1,5 \cdot 10^5$ а. е. м. [16, 18] и теломер ТФ-4 со средней молекулярной массой $1,5 \cdot 10^3$ а. е. м., полученный радиационным γ -облучением раствора тетрафторэтилена в ацетоне [1, 2, 5]. Для нанесения фторполимеров на поверхность целлюлозосодержащих образцов использовали 5 %-е растворы фторполимеров в ацетоне. Двустороннее нанесение покрытия осуществляли путем погружения образца в раствор с последующим высушиванием при комнатной температуре в течение суток.

Разрывную прочность при растяжении изучали при помощи разрывной машины Instron 3369 (США).

Состав экстрагируемых компонентов определяли на газовом хроматографе 7890А с капиллярной колонкой HP-Innowax (диаметр 0,2 мм, длина 30 м, толщина слоя неподвижной фазы 0,33 мкм) с пламенно-ионизационным детектором и колонкой HP-5MS (диаметр 0,25 мм, длина 30 м, толщина слоя неподвижной фазы 0,25 мкм) с масс-селективным детектором 5975CVL MSD Agilent Technologies (USA). Образец массой 1...10 г экстрагировали в течение 3...24 ч смесью 10 мл хлороформа + 10 мл метанола по модифицированному методу Фолча в присутствии 1 %-го раствора KCl для растворения липидных компонентов, экстракт фильтровали через бумагу и упаривали досуха [21]. Остаток (0,01 г) смешивали с 3 мл 15 %-го раствора ацетилхлорида в метаноле, выдерживали в течение 2 ч при температуре 100 °С. Добавлением насыщенного раствора КОН в метаноле создавали рН смеси 5,0–6,0. К смеси добавляли по 3 мл насыщенного водного раствора NaCl и гексана, через несколько минут отбирали для анализа 0,2 мл из прозрачного гексанового слоя, содержащего метиловые эфиры жирных кислот.

Условия хроматографирования на капиллярной колонке HP-Innowax с пламенно-ионизационным детектором: повышение температуры колонки в термостате от 100 до 260 °С со скоростью 10 °С/мин; температура инжектора 250 °С, детектора – 300 °С. Газ-носитель – азот, расход 20 мл/мин; расход водорода 35 мл/мин; объем анализируемой пробы 1 мкл; деление потока 1:100. Общая продолжительность анализа 30 мин. Количество определяемого соединения оценивали сравнением площади его пика с площадью пика внутреннего стандарта. Для расчета содержания изомеров использовали автоматическую базу поиска и идентификации данных хромато-масс-спектрометрии NIST08 MS Library с вероятностью соотнесения пиков более 80 %, для идентификации эфиров жирных кислот – растворы стандартов смеси метиловых эфиров (C₄–C₂₄) жирных кислот (масляной, капроновой, каприловой, каприновой, деценовой, ундециловой, лауриновой, тридекановой, миристиновой, миристолеиновой, пентадекановой, *цис*-10-пентадеценовой, пальмитиновой, пальмитолеиновой, маргариновой, гептадеценовой, стеариновой, олеиновой, элаидиновой, линолевой, гамма-линоленовой, альфа-линоленовой, нондекановой, ара-

хиновой, гадолеиновой, *цис*-11,14-эйкозадиеновой, *цис*-8,11,14-эйкозатриеновой, *цис*-11,14,17-эйкозатриеновой, арахидоновой, эйкозапентаеновой, генэйкозановой, бегеновой, эруковой, *цис*-13,16-докозадиеновой, клупанодоновой, докозагексаеновой, трикозановой, лигноцериновой, нервоновой) в метаноле № 47885U Supelco массовой концентрацией 10 мг/мл, а также индивидуальные стандарты (*транс*-9-октадеценовой № 6231811, *транс*-11-октадеценовой № 62318121, *транс*, *транс*-9,12-октадекадиеновой № 46951U Supelco) [17].

Температурную огнестойкость материалов испытывали в пламени горелки на расстоянии 5 см от поверхности образца в течение 10 с при визуальной регистрации начала поверхностных изменений.

Кроме того, в работе использовали следующие реактивы: гидроксид калия (х. ч.), метанол (для ВЭЖХ), ацетон (х.ч.), гексан (для ВЭЖХ), хлорид натрия («Serva», ФРГ), ацетилхлорид («Fluca», Швейцария), фторсополимер Ф-26 (НПО «Пластполимер», С.-Петербург), теломер ТФ-4 (получен в ИПХФ РАН, г. Черноголовка).

Результаты исследования и их обсуждение

В табл. 1–2 представлены некоторые результаты исследования физико-механических свойств строганого древесного шпона для конструкционных и декоративных изделий из наиболее распространенных древесных пород (сосна, бук, береза) разной влажности и образцов бумаги различного назначения вдоль и поперек волокон.

Таблица 1

Предел прочности (МПа) при растяжении вдоль волокон образцов необработанной и обработанной древесины различных пород

Древесина	Образец		
	необработанный	обработанный	
		раствором Ф-26	теломером ТФ-4
<i>Влажность 12 %</i>			
Сосна	103	136	145
Бук	140	158	162
Береза	136	140	148
<i>Влажность 15 %</i>			
Сосна	5	6	6
Бук	7	8	9
Береза	6	7	7

Таблица 2

Прочность на разрыв (МПа) при растяжении образцов необработанных и обработанных видов бумаги

Бумага	Образец		
	необработанный	обработанный	
		раствором Ф-26	теломером ТФ-4
<i>Вдоль волокон</i>			
Писчая	13	16	17
Газетная	16	18	23
<i>Поперек волокон</i>			
Писчая	12	14	15
Газетная	15	17	20

Как видно из данных табл. 1–2, прочность обработанных материалов возрастает по сравнению с исходными материалами во всех случаях, причем существеннее при использовании растворов радиационно-синтезированного теломера ТФ-4. Поверхностная обработка образцов фторопластом приводит к упрочнению структуры материала. В случае теломера ТФ-4, молекулярная масса которого существенно меньше, чем у Ф-26, происходит более глубокое

Таблица 3

**Основной химический состав (% от суммы основных компонентов)
экстрактов необработанных и обработанных образцов древесины**

Характеристический пик, мин	Компонент	Образец		
		необработанный	обработанный	
			раствором Ф-26	теломером ТФ-4
6,800	Метилоктаноат	н/о*	н/о	0,13
7,931	Метилнонаноат	н/о	н/о	0,22
8,268	2-Метилгексановая кислота	0,26	н/о	н/о
8,424	Метилдодеcanoат	0,26	0,68	0,13
9,119	Метилгексакозаноат	0,85	н/о	н/о
9,970	Метилундеcanoат	0,61	0,35	0,14
10,479	1-Тридецен	0,32	0,25	н/о
10,769	Метилпентадеcanoат	3,11	н/о	0,59
11,558	2-Метилоктадекан-7,8-диол	1,40	1,18	0,27
11,947	2-Додеценол	н/о	н/о	1,66
12,295	Метилтетрадеcanoат	8,95	7,13	1,65
12,819	Метил-12-метилтетрадеcanoат	0,33	0,54	1,46
13,011	Метилпентадеcanoат	4,42	3,88	3,15
13,685	Метилгексадеcanoат	51,46	0,24	15,86
14,168	Метил-10-метилгексадеcanoат	0,81	0,55	1,42
14,344	Метилгептадеcanoат	1,56	1,62	1,93
14,822	Метил-9-октадеценоат	4,89	4,95	7,18
14,962	Метилоктадеcanoат	12,89	13,17	7,28
15,336	8-Метил-6-ноненамид	н/о	н/о	0,46
15,974	1-Этил-2(1Н)-пиридион	0,37	0,23	0,94
16,098	Дигидро-5-тетрадецил-2(3Н)-фуранон	н/о	н/о	3,38
16,627	1-Фенилциклобутанол	н/о	0,41	0,32
16,700	N-Метил-1-адамнтаноацетамид	0,43	0,38	0,18
17,447	1-Бутил-2-этилциклобутанон	0,64	0,44	0,42
18,173	4-Этилциклогексанон	0,27	0,34	0,28
19,958	(3бета)-холеста-4,6-диен-3-ол	н/о	н/о	0,36
19,990	Изопропиловый эфир 6-(4-этокси-фенил)-3-метил-4-оксо-4,5,6,7-тетрагидро-1Н-индол-2-карбоновой кислоты	0,47	0,33	н/о
22,584	3-Диаллиламинометил-2,8-диметилхинолин-4-ол	0,28	0,23	н/о
23,616	6,7-Диметокси-3-[2-(2-метокси-фенил)-2-оксоэтил]-1(3Н)-изобензофуранон	0,26	0,34	н/о
24,270	2-Оксо-4-фенил-6-(4-хлоро-фенил)-1,2-дигидропиримидин	0,3	0,45	н/о

Примечание. н/о – содержание компонента менее 0,01 %.

проникновение в структуру целлюлозного материала. Действительно, при визуальном изучении под микроскопом среза древесного шпона было отмечено, что затемненный или забеленный, в зависимости от объема раствора, поверхностный слой древесины, пропитанный ТФ-4, имеет большую толщину, чем в случае обработки Ф-26. Эффект усиления прочностных свойств образцов газетной бумаги, по-видимому, связан с большей продольной ориентацией волокон при технологическом изготовлении бумажной газетной основы. Поскольку бумага является более пористым материалом, очевидно, что при пропитке наблюдается аналогичный эффект увеличения прочности.

Известно, что нанесение пленочного покрытия на поверхность композита модифицирует его физико-химические свойства [3, 4]. Это особенно относится к целлюлозосодержащим материалам. Так, сама древесина является достаточно лабильной. Поверхность изделий из нее легко поддается даже визуально заметным изменениям, связанным, прежде всего, с воздействием воды и кислорода воздуха. Эти изменения сопровождаются частичным высвобождением легко экстрагируемых веществ [17, 18], что во многом предопределяет характерный запах свежей древесины.

Представляло интерес оценить влияние тонкого слоя фторопласта, нанесенного на поверхность, на состав химических веществ, выделяемых древесиной.

В табл. 3 приведен химический состав основных веществ «запаха» древесины, которые удалось идентифицировать, используя модельные условия экстракции защищенной фторполимером древесины и способность высвобождать содержащиеся в ней вещества при экстракции смесью полярных растворителей метанола и хлороформа в соотношении 1:1. Эта смесь растворителей хорошо экстрагирует липиды древесины и может использоваться как модель для определения химической стойкости древесных материалов.

Анализ данных химического состава веществ, экстрагированных из защищенных и незащищенных поверхностной пленкой фторопласта образцов древесины, показал, что экстрагируемые компоненты представлены в основном замещенными производными жирных кислот, фуранов, индолов и пуринов. Это только основные вещества, в то время как в экстракт переходит несколько сотен природных соединений древесины, количественная идентификация которых определяется точностью и чувствительностью применяемого метода хромато-масс-спектрометрии [19].

Для полноты характеристики обработанных бумажных композитов и древесины необходимо знать фактическое количество экстрактивных веществ (табл. 4). Во всех случаях нанесение пленки фторопластов приводило к снижению выхода веществ при обработке органическими растворителями. Это свидетельствует о повышении устойчивости материалов в результате обработки.

Таблица 4

**Количество экстрагируемых веществ (% от исходной массы)
из образцов необработанных и обработанных материалов**

Материал	Образец		
	необработанный	обработанный	
		раствором Ф-26	теломером ТФ-4
Сосна	12	4	5
Бук	8	3	2
Береза	7	4	3
Бумага:			
писчая	2	1	1
газетная	4	2	1

Важной характеристикой целлюлозосодержащих материалов является их горючесть. Для древесины разных пород заметное температурное воздействие обычно отмечается, начиная с температуры 120...150 °С [8, 21]. Для бумаги температура возгорания составляет 150...250 °С [20, 21].

Проведенные испытания (табл. 5) показали, что поверхностное нанесение как фторопласта Ф-26, так и теломера ТФ-4 приводит к существенному увеличению температуры визуально отмечаемого воздействия на обрабатываемые открытым пламенем испытываемые образцы.

Таблица 5

Огнестойкость материалов (°С)

Материал	Образец		
	необработанный	обработанный	
		раствором Ф-26	теломером ТФ-4
Сосна	135	157	165
Бук	148	171	177
Береза	130	164	170
Бумага:			
писчая	119	136	149
газетная	138	159	167

Заключение

Обработка древесных материалов фторполимерами приводит к повышению предела их прочности на 3...40 %, а образцов бумаги – на 20...45 %.

Использование содержащих фторопласты пленочных покрытий увеличивает огнестойкость при повышенных температурах и способность изученных материалов удерживать химические компоненты древесного происхождения в образцах в процессе экстракции.

Таким образом, полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности модифицирования фторопластами целлюлозосодержащих природных композиционных материалов, что способствует улучшению их физико-механических и химических свойств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алдошин С.М., Барелко В.В., Кирюхин Д.П., Куц П.П., Петряков Д.Н., Дорохов В.Г., Быков Л.А., Смирнов Ю.Н. Разработка технологических основ изготовления стеклополимерных композиционных материалов с применением в качестве связующего олигомеров (теломеров) тетрафторэтилена // Докл. Академии наук. 2013. Т. 449, № 1. С. 55–59.
2. Большаков А.И., Кичигина Г.А., Кирюхин Д.П. Радиационный синтез теломеров при постоянной концентрации тетрафторэтилена в ацетоне // Химия высоких энергий. 2009. Т. 43, № 6. С. 512–515.
3. Бондалетова Л.И., Бондалетов В.Г. Полимерные композиционные материалы. Томск: Томск. политехн. ун-т, 2013. 111 с.
4. Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Вострикова Н.Л. Биологически активные соединения природного происхождения. Получение и структурно-функциональные взаимосвязи. Саарбрюккен: AP Lambert Academic Publishing, 2011. 488 с.
5. Иванкин А.Н., Тевлина А.С., Загорец П.А. О механизме радиационной прививки метил- α -фторакрилата и α , β , γ -трифторстирола на перфторированный сополимер // Высокомолекулярные соединения. 1983. Сер. А. Т. XXV, № 4. С. 812–817.

6. *Кирюхин Д.П., Кичигина Г.А., Бузник В.М.* Теломеры тетрафторэтилена: радиационно-химический синтез, свойства и перспективы использования // Высокомолекулярные соединения. 2013. Сер. А. Т. 55, № 11. С. 1321–1332.
7. *Кононов Г.Н.* Дендрохимия: химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток, тканей и органов древесины: моногр.: в 2 т. М.: МГУЛ, 2015. 1111 с.
8. *Корольченко А.Я., Корольченко Д.А.* Пожаровзрывоопасность веществ и материалов и средства их тушения: справ.: в 2 ч. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Ассоциация «Пожнаука», 2004. Ч. 1 – 713 с. Ч. 2 – 774 с.
9. Новые достижения в химии и химической технологии растительного сырья: материалы III Всерос. конф., 23–27 апр. 2007 г.: в 3 кн. / под ред. Н.Г. Базарновой, В.И. Маркина. Барнаул: Алт. ун-т, 2007. Кн. 1 – 271 с. Режим доступа: http://conf.chem.asu.ru/public/conferences/3/biblio/conf-2007/sbornik_tezis-2007-kniga-I.pdf (дата обращения: 20.10.2017).
10. *Фляте Д.М.* Технология бумаги. М.: Лесн. пром-сть, 1988. 440 с.
11. *Ahmed S., Bui M.N., Abbas A.* Paper-Based Chemical and Biological Sensors: Engineering Aspects // Biosensors and Bioelectronics. 2016. Vol. 77, no. 3. Pp. 249–263.
12. Autoignition Point of Selected Substances. Available at: http://dobrokot.ru/pics/i2014-07-08_01-52-26_27kb.png (дата обращения: 20.10.2017).
13. *Café T.* Physical Constants for Investigators. Available at: <http://www.tcforensic.com.au/docs/article10.html#2.1> (дата обращения: 20.10.2017).
14. *Carlsson L.A., Lindstrom T.* A Shear-Lag Approach to the Tensile Strength of Paper // Composites Science and Technology. 2005. Vol. 65, no. 2. Pp.183–189.
15. *Fajgar R., Vitek J., Pola J., Bastl Z., Tlaskal J., Gregora I., McGhee L., Stevenson P.R., Winfield J.M.* IR Laser Degradation of Some Fluoro-Polymers // Journal of Fluorine Chemistry. 1995. Vol. 72, no. 1. Pp. 111–116.
16. *Fermeglia M., Pricl S.* Molecular Dynamics Simulations of Real Systems: Application to Chloro-Fluoro-Hydrocarbons and Polymers // Fluid Phase Equilibria. 1999. Vol. 158–160, no. 6. Pp. 49–58.
17. *John A., Chen Y., Ko H.U., Kim J.* Preparation of Fluoro Derivative of Cellulose Acetate with (1,1,1,3,3,3)-Hexafluoro-2-Propanol by Mitsunobu Reaction and Its Characterization // Carbohydrate Polymers. 2011. Vol. 84, no. 1. Pp. 677–680.
18. *Kovalchuk N.M., Trybala A., Starov V., Matar O., Ivanova N.* Fluoro- vs Hydrocarbon Surfactants: Why do They Differ in Wetting Performance // Advances in Colloid and Interface Science. 2014. Vol. 210, no. 8. Pp. 65–71.
19. *Kumar G.G., Kim A.R., Nahm K.S., Yoo D.J., Elizabeth R.* High Ion and Lower Molecular Transportation of the Poly Vinylidene Fluoride–Hexafluoropropylene Hybrid Membranes for the High Temperature and Lower Humidity Direct Methanol Fuel Cell Applications // Journal of Power Sources. 2010. Vol. 195, no. 18. Pp. 5922–5928.
20. *Nikitina T.S.* $\alpha\beta$ -Trifluorostyrene and Polymers Based on It // Russian Chemical Reviews. 1990. Vol. 59, no. 6. Pp. 575–589.
21. *Xu L., Xu L., Dai W., Tsuboi T., Xie H.* Preparation and Characterization of a Novel Fluoro-Silicone Acrylate Copolymer by Semi-Continuous Emulsion Polymerization // Journal of Fluorine Chemistry. 2013. Vol. 153, no. 9. Pp. 68–73.

Поступила 18.11.17

UDC 544.54:678.743

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.122

Modification of Properties of Natural Cellulose-Containing Composite Materials by Fluoroelastomers and Tetrafluoroethylene Telomers*A.N. Ivankin¹, Doctor of Chemical Sciences, Professor**V.G. Sanaev¹, Doctor of Engineering Sciences, Professor**G.A. Gorbacheva¹, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor**A.K. Ageev¹, Student**D.P. Kiryukhin², Doctor of Chemical Sciences, Professor**G.A. Kichigina², Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Officer**P.P. Kushch², Candidate of Chemical Sciences, Senior Research Officer*

¹Bauman Moscow State Technical University, Pervaya Institutskaya ul., 1, Mytishchi, Moscow region, 141005, Russian Federation; e-mail: aivankin@inbox.ru, aivankin@mgul.ac.ru

²Institute of Problems of Chemical Physics of the Russian Academy of Sciences, pr. Akademika Semenova, 1, Chernogolovka, 142432, Russian Federation

The paper presents the study of the surface modification process of cellulose-containing materials (wood veneer and paper) by fluorinated polymers. The solutions of a copolymer of hexafluoropropylene with vinylidene fluoride of grade F-26, and solutions of radiation-synthesized telomers of tetrafluoroethylene of the Cherflon brand (TF-4) are used to modify the properties of materials. Changes in the physical and mechanical properties of treated and raw materials, as well as the protective effect of applied fluoropolymers on fire resistance and the ability of the studied objects to retain the internal chemical components of the composites during their model extraction by organic solvents (a mixture of methanol and chloroform) are studied. The tensile strength along the fibers treated with 5 % F-26 solution of pine, beech and birch samples is 136, 158 and 140 MPa, respectively, and those treated with TF-4 are 145, 162, 148 MPa against 103, 140 and 136 MPa for the original samples. Surface treatment of paper samples leads to their hardening by 20...45 %. A study of the extractability of protected materials by chromatography-mass spectrometry shows that applying a protective surface film of fluoropolymers reduces possible losses of substances to the extract by 10...150 %, and changes the chemical composition of the extractable composition, in which the compounds of natural fatty acids, carbonitriles, benzofurans, amides and quinones predominate. The test of direct flame effect on cellulose-containing materials confirms that the application of a fluorinated coating to 20...50 °C increases their fire resistance and allows varying decorative properties of materials.

Keywords: wood veneer, paper, vinylidene fluoride-hexafluoropropylene copolymer, F-26, tetrafluoroethylene telomers, TF-4.

REFERENCES

1. Aldoshin S.M., Barelko V.V., Kiryukhin D.P., Kushch P.P., Petryakov D.N., Dorokhov V.G., Bykov L.A., Smirnov Yu.N. Razrabotka tekhnologicheskikh osnov izgotovleniya steklopolimernykh kompozitsionnykh materialov s primeneniem v kachestve svyazuyushchego oligomerov (telomerov) tetraforetilena [Development of Technological

For citation: Ivankin A.N., Sanaev V.G., Gorbacheva G.A., Ageev A.K., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P. Modification of Properties of Natural Cellulose-Containing Composite Materials by Fluoroelastomers and Tetrafluoroethylene Telomers. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 122–132. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.122

Foundations of Production of Glass/Polymer Composite Materials Using Tetrafluoroethylene Oligomers (Telomers) as Binders]. *Doklady Akademii nauk* [Proceedings of the Russian Academy of Sciences], 2013, vol. 449, no. 1, pp. 55–59.

2. Bol'shakov A.I., Kichigina G.A., Kiryukhin D.P. Radiatsionnyy sintez telomerov pri postoyannoy kontsentratsii tetraftoretilena v atsetone [Radiation Synthesis of Telomers at a Constant Tetrafluoroethylene Concentration in Acetone]. *Khimiya vysokikh energiy* [High Energy Chemistry], 2009, vol. 43, no. 6, pp. 512–515.

3. Bondaletova L.I., Bondaletov V.G. *Polimernye kompozitsionnye materialy* [Polymeric Composite Materials]. Tomsk, TPU Publ., 2013. 111 p. (In Russ.)

4. Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Vostrikova N.L. *Biologicheskie kativnye soedineniya prirodnogo proiskhozhdeniya. Poluchenie i strukturno-funktsional'nye vzaimosvyazi* [Biologically Active Compounds of Natural Origin. Production and Structural and Functional Relationships]. Saarbrücken, AP Lambert Academic Publ., 2011. 488 p. (In Russ.)

5. Ivankin A.N., Tevlina A.S., Zagorets P.A. O mekhanizme radiatsionnoy privivki metil- α -ftorakrilatai α , β , β -triflorostirola na perftorirovannyi sopolimer [On the Mechanism of Radiation Inoculation of Methyl- α -Fluoroacrylate and α , β , β -Trifluorostyrene on the Perfluorinated Copolymer]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya* [Polymer Science], 1983, vol. 25, no. 4, pp. 812–817.

6. Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Buznik V.M. Telomery tetraftoretilena: radiatsionno-khimicheskiy sintez, svoystva i perspektivy ispol'zovaniya [Tetrafluoroethylene Telomers: Radiation-Initiated Chemical Synthesis, Properties, and Application Prospects]. *Vysokomolekulyarnye soedineniya. Ser. A* [Polymer Science. Ser. A], 2013, vol. 55, no. 11, pp. 1321–1332.

7. Kononov G.N. *Dendrokimiya: khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesiny. V 2 t.* [Dendrochemistry: Chemistry, Nanochemistry and Biogeochemistry of Components of Cells, Tissues and Organs of Wood. In 2 Vol.]. Moscow, MSFU Publ., 2015. 1111 p. (In Russ.)

8. Korol'chenko A.Ya., Korol'chenko D.A. *Pozharo vzryvoopasnost' veshchestv i materialov i sredstva ikh tusheniya* [Fire and Explosion Hazard of Substances and Materials and Extinguishing Agents]. Moscow, Pozhnauka Publ., 2004. Part 1, 713 p.; Part 2, 774 p. (In Russ.)

9. Bazarnova N.G., Markin V.I., eds. *Novye dostizheniya v khimii khimicheskoy tekhnologii rastitel'nogo syr'ya: materialy III Vseros. konf., 23–27 apr. 2007 g. V 3 kn.* [New Achievements in Chemistry and Chemical Technology of Plant Raw Materials: Proc. 3d All-Russ. Conf., April 23–27, 2007. In 3 Books]. Barnaul, ASU Publ., 2007. Book 1. 271 p. Available at: http://conf.chem.asu.ru/public/conferences/3/biblio/conf-2007/sbornik_tezis-2007-kniga-I.pdf (accessed 20.10.2017).

10. Flyate D.M. *Tekhnologiya bumagi* [Paper Technology]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 440 p. (In Russ.)

11. Ahmed S., Bui M.N., Abbas A. Paper-Based Chemical and Biological Sensors: Engineering Aspects. *Biosensors and Bioelectronics*, 2016, vol. 77, no. 3, pp. 249–263.

12. *Autoignition Point of Selected Substances*. Available at: http://dobrokot.ru/pics/i2014-07-08_01-52-26_27kb.png (accessed 20.10.2017).

13. Café T. *Physical Constants for Investigators*. Available at: <http://www.tforensic.com.au/docs/article10.html#2.1> (accessed 20.10.2017).

14. Carlsson L.A., Lindstrom T. A Shear-Lag Approach to the Tensile Strength of Paper. *Composites Science and Technology*, 2005, vol. 65, no. 2, pp. 183–189.

15. Fajgar R., Vitek J., Pola J., Bastl Z., Tlaskal J., Gregora I., McGhee L., Stevenson P.R., Winfield J.M. IR Laser Degradation of Some Fluoro-Polymers. *Journal of Fluorine Chemistry*, 1995, vol. 72, no. 1, pp. 111–116.

16. Fermeiglia M., Pricl S. Molecular Dynamics Simulations of Real Systems: Application to Chloro-Fluoro-Hydrocarbons and Polymers. *Fluid Phase Equilibria*, 1999, vol. 158–160, no. 6, pp. 49–58.

17. John A., Chen Y., Ko H.U., Kim J. Preparation of Fluoro Derivative of Cellulose Acetate with (1,1,1,3,3,3)-Hexafluoro-2-Propanol by Mitsunobu Reaction and Its Characterization. *Carbohydrate Polymers*, 2011, vol. 84, no. 1, pp. 677–680.

18. Kovalchuk N.M., Trybala A., Starov V., Matar O., Ivanova N. Fluoro- vs Hydrocarbon Surfactants: Why do They Differ in Wetting Performance. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2014, vol. 210, no. 8, pp. 65–71.

19. Kumar G.G., Kim A.R., Nahm K.S., Yoo D.J., Elizabeth R. High Ion and Lower Molecular Transportation of the Poly Vinylidene Fluoride–hexa Fluoro Propylene Hybrid Membranes for the High Temperature and Lower Humidity Direct Methanol Fuel Cell Applications. *Journal of Power Sources*, 2010, vol. 195, no. 18, pp. 5922–5928.

20. Nikitina T.S. $\alpha\beta$ -Trifluorostyrene and Polymers Based on It. *Russian Chemical Reviews*, 1990, vol. 59, no. 6, pp. 575–589.

21. Xu L., Xu L., Dai W., Tsuboi T., Xie H. Preparation and Characterization of a Novel Fluoro-Silicone Acrylate Copolymer by Semi-Continuous Emulsion Polymerization. *Journal of Fluorine Chemistry*, 2013, vol. 153, no. 9, pp. 68–73.

Received on November 18, 2017



УДК 630*90

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.133

**РОЛЬ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ
И ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИХ РАБОТ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ****К.Л. Михайлов, канд. экон. наук, доц., вед. науч. сотр.**Д.Х. Файзулин, ст. науч. сотр.**Н.А. Демина, канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр.*Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства, ул. Никитова, д. 13,
г. Архангельск, Россия, 163062; e-mail: Sevniilh@sevniilh-arh.ru

В современных условиях важнейшей задачей прикладной (отраслевой) науки остается обеспечение внедрения результатов выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Применительно к лесному комплексу актуально представлять практическую выгоду для лесного бизнеса в случае использования разработок научных организаций. В статье обозначены проблемы активизации научной деятельности и внедрения результатов НИОКР в лесном хозяйстве. Приведены примеры решения данной проблемы через создание в научно-исследовательских институтах специальных подразделений – инновационно-внедренческих центров. Актуальность создания указанных центров связана с необходимостью повышения научной активности исследовательских учреждений при реализации задач государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства на 2013–2020 гг.». Приведен пример расчета коммерческой эффективности внедрения научных результатов в виде условного инвестиционного проекта по теме «Изучить испытательные культуры сосны и отобрать кандидатов в элиту для ускоренного лесовыращивания» (ФБУ «Северный научно-исследовательский институт лесного хозяйства», 2015 г.). Обозначены преимущества применения научных разработок в условном инвестиционном проекте: простота расчета, наглядность примера, доступность необходимой информации, использование региональных льгот в среде экономики, участие в проектах поддержки предпринимательства. Цель работы – показать возможность коммерциализации научных результатов и оценить будущие выгоды от их использования еще до разработки бизнес-плана. Проект содержит краткое представление научных результатов, оценку необходимых затрат, варианты инвестиционных вложений и описание потенциальных источников финансирования. В обосновании коммерческой привлекательности результатов НИОКР применяется метод оценки экономической эффективности инвестиционных проектов с расчетом показателей рентабельности, чистой приведенной стоимости, сроков окупаемости инвестиций. В ходе проведения расчетов учитывались региональные особенности организации и ведения предпринимательской деятельности, специфика лесного сектора хозяйства, наличие государственной поддержки, преимущества новых форм интеграции бизнеса.

* Публикация подготовлена по результатам выполнения государственного задания на проведение прикладных научных исследований по теме «Разработка ежегодного информационно-аналитического доклада о результатах НИОКР в лесном хозяйстве» № 115042310019.

Для цитирования: Михайлов К.Л., Файзулин Д.Х., Демина Н.А. Роль научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в лесном хозяйстве // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 133–138. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.133

Ключевые слова: лесное хозяйство, внедрение инноваций, результаты НИОКР, коммерческая эффективность, инвестиционный проект.

В современных условиях важнейшей задачей отраслевой науки остается обеспечение внедрения результатов выполненных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (НИОКР). Цели активизации внедренческой деятельности подчинена поставленная Рослесхозом задача создания инновационно-внедренческих центров (ИВЦ) в подведомственных научно-исследовательских институтах [6]. Актуальность создания ИВЦ в Северном научно-исследовательском институте лесного хозяйства (СевНИИЛХ) связана с необходимостью повышения научной активности при реализации задач государственной программы Российской Федерации «Развитие лесного хозяйства на 2013–2020 гг.», региональных программ развития лесного комплекса, а также с использованием результатов НИОКР, полученных лесной наукой за последние десятилетия. Деятельность ИВЦ предполагает сосредоточение усилий на развитии сотрудничества между специалистами института и представителями промышленности по внедрению результатов НИОКР, доведению научных идей до реальных проектов и производств, реализации задач повышения эффективности лесного хозяйства региона.

Последовательность планируемого развития ИВЦ:

1. Концентрация ресурсов, отбор проектов для первоочередного внедрения.
2. Поиск инвесторов, составление договоров о внедрении, заключение договоров о намерениях.
3. Начало внедренческой деятельности с применением новых рыночных форм сотрудничества и финансирования (государственно-частное партнерство, венчурные инвестиции, «якорные» компании, технологические стартапы).
4. Масштабное развитие центра при существенных потоках финансирования в первую очередь за счет доходов от внедренческой деятельности.

Перед нами стояла задача – рассмотреть результаты одной из проведенных в СевНИИЛХе НИОКР по теме «Изучить испытательные культуры сосны и отобрать кандидатов в элиту для ускоренного лесовыращивания» [4] для их практического внедрения в качестве условного инвестиционного проекта по выращиванию сеянцев сосны обыкновенной из элитных семян в условиях Архангельской области.

Научный результат. Разработанный в СевНИИЛХе метод ранней диагностики по числу семядолей основан на закономерностях расщепления потомства отдельных деревьев и популяций по числу семядолей у всходов (семян) и роста этого потомства. В результате проведенных исследований доказано, что наибольшее количество многосемядольных растений образуется на объектах постоянных лесосеменных участков. Так, по данным НИОКР, в испытательных культурах лучшим ростом и развитием отличается многосемядольное потомство вегетативной плантации, которое опережает многосемядольное потомство постоянных лесосеменных участков и популяции (семена массового сбора) по высоте на 0,5...1,6 %, диаметру ствола – на 0,6...1,3 %, объему ствола – на 0,7...5,0 %. Многосемядольное потомство плантации растет интенсивнее малосемядольных потомств разных происхождений по высоте на 4,5...7,5 %, по диаметру ствола на 5,2...8,0 %, по объему ствола на 14,8...23,8 % [4].

Анализ научных результатов. Для анализа научных результатов проекта применялся метод сравнения с аналогами. Сравнение выполнялось по объему ствола. Для экономических расчетов принималась среднеарифметическая величина изменения этого параметра. По данным отчета НИОКР, наблюдалось увеличение полученных данных по сравнению с аналогом на 19,3 % [4].

Методика расчета. Результаты НИОКР, пригодные для получения коммерческой выгоды, целесообразно представлять в виде условного инвестиционного проекта, продолжением которого может стать разработка уточненного бизнес-плана, для оценки эффектов от внедрения результатов НИОКР использовать методику соотношения результатов и затрат.

Исходные данные. Для определения экономической эффективности инвестиционного проекта по использованию элитных семян сосны для выращивания 1-2-летних сеянцев сосны обыкновенной с открытой корневой системой требуется провести обоснованный расчет цены реализации сеянцев с измененными (улучшенными) параметрами. Цена аналога принята 2,80 р./шт. (май 2014 г.) по данным о ценах реализации сеянцев сосны обыкновенной тепличного комплекса Вельского лесничества Архангельской области. Для расчета на новую продукцию цены применим метод параметрического ценообразования. Аналогом выступает рыночная цена на сеянцы сосны для реализации в рассматриваемой лесорастительной зоне. Расчет производится по следующей формуле:

$$Ц_n = Ц_a \frac{П_n}{П_a},$$

где $Ц_n$ – цена новой продукции (сеянцы из элитных семян сосны);

$Ц_a$ – цена аналога (сеянцы сосны для реализации в данной лесорастительной зоне);

$П_n$ – параметр новой продукции (объем ствола сеянцев из элитных семян сосны);

$П_a$ – параметр аналога (объем ствола сеянцев сосны для реализации в данной лесорастительной зоне).

В нашем примере обоснованной ценой реализации сеянцев из элитных семян сосны будет

$$Ц_n = 2,80 \cdot \frac{1,193}{1,0} = 3,34 \text{ р.}$$

В качестве примера расчета экономической эффективности при выращивании сеянцев сосны обыкновенной из элитных семян рассмотрен условный инвестиционный проект с объемом инвестиций 1 млн р. Площадь выращивания сеянцев в питомнике, принята 5 га. Нормы выхода стандартных сеянцев сосны обыкновенной для северной подзоны тайги приняты 1000 тыс. шт./га [2]. Выращивание сеянцев с закрытой корневой системой (в теплице): 1-летние сеянцы сосны 900...1000 шт./м²; 1-летние сеянцы ели 1300 шт./м²; 2-летние сеянцы сосны 700 шт./м². Полезная площадь использования питомника принимается на уровне 70 %. Выход элитных сеянцев в зависимости от погодных условий в течение года составляет 50...80 % (для расчета принимаем 65 %), урожайность семян с 1 га сосны 0,2...19 кг, всхожесть семян 90 %, вес семян 5,6 г, норма высева 60 кг/га [3].

В результате расчета получается, что для засева выбранного питомника потребуется 210 кг семян сосны. Минимальный срок инвестирования составит 1 год 8 мес., включая заготовку семян и их проращивание, отбор элитных се-

мян, выращивание посадочного материала и его реализацию. Трудозатраты на заготовку шишек (21 т) составят 453,6 чел.-дн.; на переработку шишек – 186,9 чел.-дн. На указанные работы принимается оплата труда с отчислениями во внебюджетные фонды 65 р./ч. [5]. Работы по заготовке шишек и их переработке стоят 333,060 тыс. р. Затраты на подготовку к посеву и посев семян сосны: вспашка, боронование, нарезка гряд, посев, аренда трактора МТЗ-50(80) (принято по [7]), оплата труда работников с отчислениями во внебюджетные фонды – 97,8 тыс. р. Отбор элитного материала предусматривает оплату труда работников с отчислениями во внебюджетные фонды – 520 тыс. р. Затраты на полив летом и подкормку: аренда трактора МТЗ-50(80), оплата труда работников с отчислениями во внебюджетные фонды – 82 тыс. р. Затраты на выкапывание и реализацию сеянцев: аренда трактора МТЗ-50(80), оплата труда работников с отчислениями во внебюджетные фонды – 61,2 тыс. руб. Итого расходов: 1094,060 тыс. р.

Источник инвестиций. Для финансирования проекта в размере указанной суммы 1094,060 тыс. р. подходят условия Фонда микрофинансирования Архангельской области [1]. Срок займа – от 3 мес. до 3 лет. Процентная ставка по займу – 10 % годовых; для крестьянских (фермерских) хозяйств – 7 % годовых.

Расчет экономической эффективности. Расчет экономической эффективности проекта проводим по показателям рентабельности инвестиций ($P_{и}$), чистой приведенной стоимости (NPV), срока окупаемости инвестиций. Рентабельность инвестиций определяем по формуле

$$P_{и} = \frac{\Pi_p}{И} 100,$$

где Π_p – прибыль от реализации сеянцев (доход);

$И$ – объем инвестиций (с оплатой процентов за пользование кредитом).

В проекте выручка от реализации сеянцев из элитных семян составляет 7598,9 тыс. р. Инвестиции за весь период проекта (1 год и 8 мес.) – 1283,697 тыс. р. (кредит – 1094,060 тыс. р., проценты за пользование кредитом – 189,637 тыс. р.). Прибыль от реализации сеянцев – 6315,203 тыс. р. Рентабельность инвестиций – 492 %. Если рассматривать государственное финансирование НИОКР по теме исследования как инвестиции в данный проект (за 3 года сумма составила 6179,8 тыс. р.) и включать их в расчет рентабельности (без оплаты процентов), то значение показателя составит 1,8 %. Проект остается рентабельным и при отнесении расходов на НИОКР.

Чистую приведенную стоимость находим по следующей формуле:

$$NPV = -I_0 + \sum_{i=1}^T \frac{C_i}{(1+r)^i},$$

где I_0 – инвестиционные расходы, осуществляемые в начальный момент времени $t = 0$;

C_i – денежный поток в t -й период;

r – расчетный процент (норма доходности, альтернативные издержки капитала), в нашем примере ставка за пользование кредитом 10 %.

В результате расчета по проекту $NPV = 5624,397$ тыс. р. Срок окупаемости инвестиций 2 года.

Риски. В представленных расчетах не учтены риски заболевания растений, вымерзания сеянцев, неблагоприятного изменения рыночной конъюнктуры.

Вывод. Расчет эффективности внедрения результатов рассмотренной НИОКР в виде условного инвестиционного проекта показывает коммерческую привлекательность организации бизнеса.

Следовательно, создание инновационно-внедренческих центров научных организаций отвечает задачам активизации внедренческой деятельности, ревизии результатов НИОКР за последние годы для применения на практике, позволяет использовать деятельность по внедрению новых разработок как один из перспективных источников финансирования науки. Проанализированный нами пример отражает доступность проведения расчетов для вовлечения научных знаний в коммерческое использование бизнесом. Представление результатов НИОКР в виде условного инвестиционного проекта и расчет показателей экономической эффективности показали его коммерческую привлекательность для организации предпринимательской деятельности. В ходе проведения расчетов были учтены региональные особенности организации и ведения предпринимательской деятельности, государственная поддержка науки и бизнеса, преимущества новых форм интеграции бизнеса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Микрофинансовая организация «Архангельский региональный фонд микрофинансирования» // Архангельская область. Портал малого и среднего предпринимательства. Режим доступа: <http://msp29.ru/registry/infr/fco/11,377378/> (дата обращения: 25.01.2017).

2. Об утверждении «Норм выхода стандартных семян деревьев и кустарников в лесных питомниках РФ»: приказ Федеральной службы лесного хозяйства России № 144 от 25.10.1995. Доступ из справ.-правовой системы «КонсультантПлюс».

3. ОНТП 02–85. Общесоюзные нормы технологического проектирования лесохозяйственных предприятий. Режим доступа: <http://www.gosthelp.ru> (дата обращения: 25.01.2017).

4. Отчет НИОКР по теме «Изучить испытательные культуры сосны и отобрать кандидатов в элиту для ускоренного лесовыращивания». Архангельск: СевНИИЛХ, 2015.

5. Официальный сайт Управления Федеральной службы государственной статистики по Архангельской области и Ненецкому автономному округу. Режим доступа: <http://arhangelskstat.gks.ru> (дата обращения: 25.01.2017).

6. Официальный сайт Федерального агентства лесного хозяйства Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации. Режим доступа: <http://www.rosleshoz.gov.ru> (дата обращения: 25.01.2017).

7. Спецтехника: Доска объявлений по аренде спецтехники. Режим доступа: arkhangelsk.spcteh.ru (дата обращения: 25.01.2017).

Поступила 21.11.17

УДК 630*90

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.133

Research, Development and Engineering in Forestry

K.L. Mikhaylov, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Leading Researcher

D.H. Fayzulin, Senior Research Officer

N.A. Demina, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Officer

Northern Research Institute of Forestry, ul. Nikitova, 13, Arkhangelsk, 163062, Russian Federation; e-mail: Sevniilh@sevniilh-arh.ru

The implementation of R&D deliverables is a high-priority problem of the applied (sectoral) science under current conditions. With regard to the forest complex, it is actual to present a

For citation: Mikhaylov K.L., Fayzulin D.Kh., Demina N.A. Research, Development and Engineering in Forestry. *Lesnoy zhurnal* [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 133–138. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.133

practical benefit for the forest business in the use of developments of scientific organizations. The paper presents the problems of intensification of scientific activities and the implementation of R&D deliverables in forestry. This problem can be solved by creation of special units – innovation centres. Their urgency is related to the need to increase the scientific activities of research institutions in the implementation of the objectives of the Russian Federation state program “Forestry Development for 2013–2020”. The example of calculation of commercial effectiveness of the scientific results implementation in the form of the conditional investment project “To Study Test Pine Cultures and Select Quality Variety for Quickened Forest Growth” (Federal State-Funded Institution “Northern research institute of forestry”, 2015) is demonstrated. The advantages of commercialization of scientific research results in a conditional investment project are as follows: simplicity of calculation, clarity of example, availability of relevant information, use of regional benefits in the economy, participation in business support projects. The goal of research is to demonstrate the possibility of commercialization of scientific results and evaluating the business undertaking attractiveness even before the business plan development. The project includes a brief presentation of R&D results, a necessary cost estimation, investment variants, and potential sources of financing. The method of assessment of economical efficiency of investment projects with the calculation of profitability indices, net present value, and a payback period is used to substantiate commercial attractiveness of R&D deliverables. The authors take into account the regional management of course of business, specificity of the forest-based economy sector, state support, and the advantages of new forms of business integration.

Keywords: forestry, innovation, R&D deliverables, commercial effectiveness, investment project.

REFERENCES

1. Mikrofinansovaya organizatsiya «Arkhangelskiy regional'nyy fond mikrofinansirovaniya» [Microfinance Organization “Arkhangelsk Regional Microfinance Fund”]. *Arkhangel'skaya oblast'. Portal malogo i srednego predprinimatel'stva* [Arkhangelsk Region. Portal of Small and Medium-Sized Entrepreneurship]. Available at: [http://msp29.ru/ registry/infr/fco/11,377378](http://msp29.ru/registry/infr/fco/11,377378) (accessed 25.01.2017).
2. *Ob utverzhdenii «Norm vykhoda standartnykh seyantsev derev'ev i kustarnikov v lesnykh pitomnikakh RF»: prikaz Federal'noy sluzhby lesnogo khozyaystva Rossii № 144 ot 25.10.1995* [On the Approval of “The Standards for the Yield of Tree and Shrub Standard Seedlings in Forest Nurseries of the Russian Federation”: the Order of the Federal Forest Service of Russia No. 144 of 25 October 1995]. «Konsul'tantPlyus» [Legal System “ConsultantPlus”].
3. *ONTP 02–85. Obshchесоyuznye normy tekhnologicheskogo proektirovaniya lesokhozyaystvennykh predpriyatiy* [ONTC 02-85. All-Union Standards for the Technological Design of Forestry Enterprises]. Available at: <http://www.gosthelp.ru> (accessed 25.01.2017).
4. *Otchet NIOKR po teme «Izuchit' ispytatel'nye kul'tury sosny i otobrat' kandidatov v elitu dlya uskorennoy lesovyrashchivaniya»* [Report on R&D “To Study Test Pine Cultures and Select Quality Variety for Quickened Forest Growth”]. Arkhangelsk, SevNIILKh Publ., 2015.
5. *Ofitsial'nyy sayt Upravleniya Federal'noy sluzhby gosudarstvennoy statistiki po Arkhangel'skoy oblasti i Nenetskomu avtonomnomu okrugu* [Official Site of the Federal Service of State Statistics in the Arkhangelsk Region and the Nenets Autonomous District]. Available at: <http://arhangelskstat.gks.ru> (accessed 25.01.2017).
6. *Ofitsial'nyy sayt Federal'nogo agentstva lesnogo khozyaystva Ministerstva prirodnnykh resursov i ekologii Rossiyskoy Federatsii* [The Official Site of the Federal Forestry Agency of the Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation]. Available at: <http://www.rosleshoz.gov.ru> (accessed 25.01.2017).
7. *Spetstekhnika: Doska ob'yavleniy po arende spetstekhniki* [Spetstekhnika. Announcement Board of Rental Specialized Vehicle]. Available at: arkhangelsk.spcteh.ru (accessed 25.01.2017).

Received on November 21, 2017



КРИТИКА И БИБЛИОГРАФИЯ

УДК 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.139

**НОВАЯ КНИГА ПИТЕРА НИМЦА И ВАЛЬТЕРА СОНДЕРЕГГЕРА
«HOLZPHYSIK: PHYSIK DES HOLZES UND DER HOLZWERKSTOFFE» –
ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ ТРУД В ОБЛАСТИ НАУК О ДРЕВЕСИНЕ****Г.А. Горбачева, канд. техн. наук, доц.*

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ул. 1-я Институтская, д. 1, г. Мытищи, Московская область, Россия, 141005; e-mail: gorbacheva-g@yandex.ru

Настоящим событием стал выход в августе 2017 г. в издательстве «Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG» (Германия) книги проф. Питера Нимца и д-ра Вальтера Сондереггера «Физика древесины и древесных материалов»¹.

Этот фундаментальный труд в области наук о древесине содержит базовые сведения о строении, свойствах и качестве древесины и древесных материалов, необходимые в технологических процессах деревопереработки и при дальнейшей эксплуатации изделий и конструкций. Являясь сотрудниками Института строительных материалов Высшей технической школы Цюриха (Швейцария), авторы издания отразили современные тенденции, методы и результаты исследований древесины и материалов на ее основе.

Выдающийся ученый, академик, член Правления Международной академии наук о древесине, член Регионального координационного совета по современным проблемам древесиноведения П. Нимц – общепризнанный авто-



*Статья подготовлена 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».

¹Niemz P., Sonderegger W. Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Carl Hanser Verlag GmbH & Company KG, 2017, 580 s. (print ISBN: 978-3-446-44526-0, eISBN: 978-3-446-44546-8).

Для цитирования: Горбачева Г.А. Новая книга Питера Нимца и Вальтера Сондереггера «Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe» – фундаментальный труд в области наук о древесине // Лесн. журн. 2018. № 2. С. 139–141. (Изв. высш. учеб. заведений). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.139

ритет в научной и педагогической среде, им опубликовано более 600 научных работ в области физики, математики, механики древесины и древесных материалов, технологии деревообработки. В. Сондереггер имеет научную степень в области физики древесины и известен своими работами по исследованию физико-механических свойств древесины и древесных материалов. Уникальный опыт исследовательской и педагогической работы позволил проф. Нимцу еще в 1993 г. подготовить первое издание этой книги², ставшее настоящим бестселлером и по праву снискавшее заслуженную славу и популярность.

В новом издании авторы сохранили тот же принцип построения книги: большое количество наглядного материала (формулы, графики, схемы, таблицы) и минимальное количество текста.

Введение содержит краткие сведения о лесопользовании, мировых запасах древесины, физико-механических свойствах древесины, технологиях ее обработки, производстве продукции в лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Во второй главе изложены ретроспективный обзор исследований в области физики древесины начиная с XVIII в. и до наших дней, история формирования исследовательских центров изучения древесины и древесных материалов. Немаловажно, что авторы учебника отметили и вклад российских ученых проф. Ю.М. Иванова и проф. Б.Н. Уголева в развитие физики древесины.

В следующих главах представлены основные данные о строении древесины и структуре древесных материалов, физических (влажность и свойства, связанные с ее изменением, плотность, тепловые, электрические, звуковые, оптические), механических, технологических и эксплуатационных свойствах древесины и древесных материалов. Подробно изложены сведения из области механики древесины и древесных материалов. Приведены результаты многолетних экспериментальных исследований механических показателей древесины и материалов на ее основе, выполненных группой исследователей из отдела физики древесины, который проф. П. Нимц возглавлял около 20 лет³ в Институте строительных материалов Высшей технической школы Цюриха.

Отдельная глава посвящена вопросам разрушения и старения древесины и древесных материалов, имеющим важное значение для практики.

Достигнутые в последние два десятилетия значительные успехи в области метрологии, особенно неразрушающего контроля, привели к появлению и внедрению в промышленность инновационных методик испытаний древесины и древесных материалов. Значительный вклад П. Нимца в это направление отмечен медалью Вильгельма Клаудица (2014 г.). Авторы книги приводят анализ и описание методов синхротронной микротомографии, нейтронной радиографии и томографии, наноиндентирования, спектрометрического анализа, рентгенографических и других методик, которые позволяют получать новые сведения о структуре и механизмах структурных изменений при действии различных факторов. Напряжения и деформации в древесине и древесных материалах, использование физических свойств древесины для онлайн-контроля качества также описаны в книге.

²Niemz P. Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe. Stuttgart: DRW – Verlag, 1993, 243 s.

³Уголев Б.Н., Горбачева Г.А., Нимц П. Фундаментальные и прикладные исследования древесины в Швейцарской высшей технической школе Цюриха // Лесн. журн. 2014. № 4. С. 162–167. (Изв. высш. учеб. заведений).

Раздел «Моделирование структуры и свойств древесины и древесных материалов» содержит описание общих подходов и по сравнению с предыдущим изданием (1993 г.) несколько сокращен, поскольку получение надежных результатов при моделировании затруднено из-за отсутствия достаточных экспериментальных данных и природной вариативности свойств древесины.

Книга «Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe» П. Нимца и В. Сондереггера представляет собой уникальное издание, в котором содержатся фундаментальные сведения о строении, свойствах и качестве древесины и древесных материалов, результаты новейших исследований в области физики древесины и значительный объем справочных данных. Она вносит значительный вклад в развитие физики древесины и древесных материалов и предназначена для студентов вузов лесотехнического профиля, исследователей в области наук о древесине, инженерно-технических работников деревоперерабатывающей промышленности.

UDC 630*812

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.139

A New Book by Peter Niemz & Walter Sonderegger “Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe” is a Major Work in Wood Sciences

*G.A. Gorbacheva, Candidate of Engineering Sciences, Associate Professor
Bauman Moscow State Technical University, Pervaya Institutskaya ul., 1, Mytishchi, Moscow region, 141005, Russian Federation; e-mail: gorbacheva-g@yandex.ru*

For citation: Gorbacheva G.A. A New Book by Peter Niemz & Walter Sonderegger “Holzphysik: Physik des Holzes und der Holzwerkstoffe” is a Major Work in Wood Sciences. Lesnoy zhurnal [Forestry journal], 2018, no. 2, pp. 139–141. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.139



НЕКРОЛОГИ

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.142

ПАМЯТИ ВИТАЛИЯ ВАСИЛЬЕВИЧА ПЕТРИКА

12 февраля 2018 г. ушел из жизни профессор, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и искусственных лесов Северного (Арктического) федерального университета им. М.В. Ломоносова Виталий Васильевич Петрик.

Виталий Васильевич родился 6 июля 1952 г. в старинном белорусском г. Витебске, но с 1953 г. вся его жизнь связана с г. Архангельском. В 1976 г. он окончил Архангельский государственный лесотехнический институт им. В.В. Куйбышева, с 1986 по 1990 г. обучался в аспирантуре при Ленинградской лесотехнической академии им. С.М. Кирова (СПбЛТА), успешно защитил кандидатскую (1991 г.) и докторскую диссертации (2003 г.). В 2003 г. возглавил кафедру лесных

культур и механизации лесохозяйственных работ Архангельского государственного технического университета (ныне кафедра ландшафтной архитектуры и искусственных лесов САФУ). Специалист в области прижизненного использования леса, автор более 80 научных трудов, соавтор «Правил подсочки, осмолподсочки и заготовки лесохимического сырья в лесах СССР» (1987), «Правил подсочки в лесах Российской Федерации» (1995), учебника «Недревесная продукция леса» (2003). Удостоен нагрудного знака «Почетный работник высшего профессионального образования Российской Федерации». Подготовил 7 кандидатов наук по направлению «Лесное хозяйство».

Во многом благодаря Виталию Васильевичу в Северном (Арктическом) федеральном университете им. М.В. Ломоносова появилась специальность «Садово-парковое и ландшафтное строительство». Профессионализм, целеустремленность, трудоспособность, внимательное отношение к коллегам всегда отличали этого талантливый и авторитетного человека. Оптимизм, чувство юмора, доброжелательность, простота в общении создавали вокруг него особую атмосферу. Виталий Васильевич был требователен к себе и окружающим, но работать с ним было легко и приятно.

Память об ученом, педагоге, добром, светлом и отзывчивом человеке навсегда сохранится в наших сердцах.

Коллектив кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов САФУ глубоко скорбит о невосполнимой утрате и выражает искренние соболезнования родным и близким.

*А.М. Антонов, Н.А. Бабич, Н.П. Гаевский,
Н.О. Пастухова, Г.И. Травникова*
Северный (Арктический) федеральный университет
им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.142

In Memory of Vitaliy V. Petrik

A.M. Antonov, N.A. Babich, N.P. Gaevskiy, N.O. Pastukhova, G.I. Travnikova
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.144

ПАМЯТИ АЛЕКСАНДРА ИВАНОВИЧА СОКОЛОВА

14 февраля 2018 г. после тяжелой болезни на 74-м году жизни скончался главный научный сотрудник Института леса Карельского научного центра РАН (КарНЦ РАН), доктор сельскохозяйственных наук, заслуженный работник лесного комплекса Республики Карелия Александр Иванович Соколов.

Александр Иванович родился в 1944 г. в г. Кемь Карельской АССР. В 1971 г. он с красным дипломом окончил Петрозаводский государственный университет (ПетрГУ) и поступил в аспирантуру при Институте леса КарНЦ РАН.

В институте леса А.И. Соколов прошел путь от младшего научного сотрудника до заведующего лабораторией. В 1984 г. Александр Иванович защитил кандидатскую диссертацию, в 2012 г. – докторскую.

Основные направления его исследований – создание лесных культур на вырубках, выращивание посадочного материала в лесных питомниках, рекультивация техногенных земель.

А.И. Соколов – автор более 150 научных работ. В их числе монографии «Лесовосстановление на вырубках Северо-Запада России», «Повышение ресурсного потенциала таежных лесов лесокультурным методом» и др. Александр Иванович хорошо известен не только в научных кругах, но и среди работников лесной отрасли. Им подготовлено множество практических рекомендаций, руководств, учебно-методических пособий, в том числе «Рекомендации по лесовосстановлению и уходу за молодняками на Северо-Западе России», «Рекомендации по лесовосстановлению в Республике Карелия и Мурманской области».

Он считал исключительно важной миссией подготовку специалистов для лесной отрасли. В тесном сотрудничестве с ПетрГУ Александр Иванович обеспечивал проведение полевой практики, руководил дипломными проектами, являлся председателем государственной экзаменационной комиссии лесоинженерного факультета университета.

Много сил и энергии вложил А.И. Соколов в развитие лесокультурного направления исследований в Институте леса КарНЦ РАН.

Деятельность Александра Ивановича отмечена почетными грамотами КарНЦ РАН, Государственного комитета по лесу Республики Карелия, Президиума РАН, благодарственным письмом Президента Российской Федерации. За вклад в развитие лесного хозяйства ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник лесного комплекса Республики Карелия».

Его принципиальность, трудолюбие, требовательность к себе и сотрудникам снискали заслуженное уважение коллег. Он отличался эрудицией, уважительным отношением к людям, скромностью. Всем, кто знал Александра Ивановича, будет очень не хватать общения с ним, его добрых и ценных советов.

А.М. Крышень, В.А. Харитонов, С.А. Мошников
Институт леса Карельского научного центра
Российской академии наук

DOI: 10.17238/issn0536-1036.2018.2.144

In Memory of Aleksandr I. Sokolov

A.M. Kryshen', V.A. Kharitonov, S.A. Moshnikov
Forestry Research Institute of Karelian Research Centre of the Russian Academy
of Sciences
