

ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 1 ' 2019 Том 23

Главный редактор

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

Редакционный совет журнала

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

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

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

Бемман Альбрехт, профессор, Дрезденский технический университет, Институт профессуры для стран Восточной Европы, Германия

Бурмистрова Ольга Николаевна, д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

Деглиз Ксавье, д-р с.-х. наук, профессор Академик IAWS, академик Французской академии сельского хозяйства, Нанси, Франция

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Котиев Георгий Олегович, д-р техн. наук, профессор, кафедра «Колесные машины» МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

Кротт Макс, профессор, специализация «Лесная политика», Георг-Аугуст-Университет, Геттинген, Германия

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

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

Лукина Наталья Васильевна, член-корреспондент РАН, профессор, директор ЦЭПЛ РАН, зам. Председателя Научного совета по лесу РАН, Москва

Малашин Алексей Анатольевич, д-р физ.-мат. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

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

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

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

Пастори Золтан, д-р техн. наук, доцент, директор Инновационного центра Шопронского университета, Венгрия

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

Полуэктов Николай Павлович, д-р техн. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

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

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

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

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

Тричков Нено Иванов, профессор, доктор, проректор по научной работе Лесотехнического университета, София, Болгария

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

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

Чумаченко Сергей Иванович, д-р биол. наук, профессор, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

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

Шегельман Илья Романович, д-р техн. наук, профессор, Управление научных исследований, базовая кафедра «Сквозные технологии и экономическая безопасность», главный научный сотрудник ПетрГУ, Петрозаводск

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

Щепашенко Дмитрий Геннадьевич, д-р биол. наук, доцент, старший научный сотрудник Международного института прикладного системного анализа (IIASA), Австрия

Ответственный секретарь Расава Елена Александровна

Редактор Е.Г. Купреянова

Перевод М.А. Карпухиной

Электронная версия Ю.А. Рязжской

Учредитель МГТУ им. Н.Э. Баумана

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

Свидетельство о регистрации ПИ № ФС 77-68118 от 21.12.2016

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

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

Выходит с 1997 года

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

Дата выхода в свет 11.02.2019.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 16,9 п. л.

Цена свободная

LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal
№ 1 ' 2019 Vol. 23

Editor-in-chief

Sanaev Victor Georgievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Director of BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Editorial council of the journal

Artamonov Dmitriy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Penza State
Ashraf Darwish, Associate Professor of Computer Science, Faculty of Computer Science, Helwan University, Cairo, Egypt, Machine Intelligence Research Labs (MIR Labs), USA
Belyaev Mikhail Yur'evich, Dr. Sci. (Tech.), Head of Department, Deputy Director of S.P. Korolev RSC «Energia», Moscow
Bemman Al'brekht, Professor, the Dresden technical university, professorate Institute for countries of Eastern Europe, Germany
Burmistrova Olga Nikolaevna, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Ukhta State Technical University, Ukhta
Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg
Chumachenko Sergey Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Deglise Xavier, Dr. Sci. (Agric.), Academician of the IAWS, Academician of the French Academy of Agriculture, Nancy, France
Drapalyuk Mikhail Valentinovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Vice-Rector for Science and Innovation Voronezh State Academy of Forestry, Voronezh
Evdokimov Yuriy Mikhaylovich, Professor, Ph. D. (Chemical); academician of the New York Academy of Sciences, corr. Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of Nanotechnology Society of Russia, Moscow
Zalesov Sergey Veniaminovich, Professor, the Dr. Sci. (Agric.), USFEU, Ekaterinburg
Zaprudnov Vyacheslav Il'ich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Ivankin Andrey Nikolaevich, Professor, Dr. Sci. (Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kiryukhin Dmitriy Pavlovich, Dr. Sci. (Chemical), IPCP RAS, Chernogolovka
Klassen Nikolay Vladimirovich, Ph. D. (Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka
Kokh Nil's Elers, Professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark
Komarov Evgeniy Gennadievich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Korol'kov Anatoliy Vladimirovich, Professor, Dr. Sci. (Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kotiev George Olegovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Kozlov Aleksandr Il'ich, Ph. D. (Tech.), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev
Kozhukhov Nikolay Ivanovich, Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Dr. Sci. (Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Krott Maks, Professor of Forest politics specialization, George-August-Universitet, Goettingen
Leont'ev Aleksandr Ivanovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU, Moscow
Lipatkin Vladimir Aleksandrovich, Professor, Ph. D. (Biol.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Lukina Natalya Vasilyevna, Corresponding Member of the RAS, Director of the Center for Sub-Settlement Research RAS, Deputy Chairperson of the Forest Research Council

Malashin Alexey Anatolyevich, Professor, Dr. Sci. (Physics and Mathematics), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow
Martynyuk Aleksandr Aleksandrovich, Dr. Sci. (Agric.), VNIILM, Moscow

Melekhov Vladimir Ivanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), Academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangelsk
Moiseev Nikolay Aleksandrovich, Professor, Dr. Sci. (Agric.) academician of the Russian Academy of Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

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

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

Pasztor, Zoltan, Dr., Ph.D., Director of Innovation Center, University of Sopron, Sopron, Hungary

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

Poluektov Nikolai Pavlovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow

Rodin Sergey Anatol'evich, Professor, the Dr. Sci. (Agric.), ARRISMF, Moscow

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

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

Shegelman Ilya Romanovich, Professor, Dr. Sci. (Tech.), PSU, Petrozvodsk

Shchepashchenko Dmitry Gennadievich, Associate Professor, Dr. Sci. (Biol.), Senior Researcher, International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Austria

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

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

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

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

Trichkov Neno Ivanov, professor, Dr., Vice-Rector for Research, Forestry University, Sofia, Bulgaria

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

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor E.G. Kupreyanova

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

Founder BMSTU

The journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media Certificate on registration ПИ № ФС 77-68118 of 21.12.2016 The journal is included in the list of approved VAK of the Russian Federation for editions for the publication of works of competitors of scientific degrees Materials of the present magazine can be reprinted and reproduced fully or partly with the written permission of publishing house It has been published since 1997

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

It is sent for the press 11.02.2019.
Circulation 600 copies
Order №
Volume 16,9 p. p.
Price free

СОДЕРЖАНИЕ

БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

Белых О.А., Русецкая Г.Д. Оценка эффективности инструментов реализации принципов устойчивого управления лесными системами в Восточной Сибири	5
Агеев А.К., Иванкин А.Н., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Беляков В.А. Радиоэкология зараженных лесных ареалов республики Беларусь через тридцать лет после Чернобыля	14
Залесова Е.С., Ананьев Е.М., Осипенко А.Е., Шубин Д.А., Терехов Г.Г. Влияние густоты посадки на устойчивость искусственных сосновых насаждений	22
Наквасина Е.Н., Некрасова А.В., Прожерина Н.А. Сравнение березы повислой (<i>Betula pendula</i> Roth.) с разными типами коры по вегетативным и генеративным признакам	28

ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

Дормидонтова В.В. Техноцентризм и экоцентризм в ландшафтной архитектуре XX–XXI веков	37
Леонова В.А., Джиоева З.Р. Структура древесных насаждений кварталов исторической застройки города Цхинвал (Южная Осетия)	44

ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Особенности взаимодействия трелевочной системы с оттаивающим почвогрунтом	52
Карпачев С.П., Запруднов В.И., Быковский М.А. Моделирование работы многооперационной лесозаготовительной машины для производства сортиментов и пакетов из древесных отходов	62
Бурмистров Д.В., Могутнов Р.В., Рябова О.В., Сафонова Ю.А., Скрыпников А.В., Дорохин С.В., Поставничий С.А., Чирков Е.В. Исследование вероятностных связей и зависимостей, определяющих оптимальные методы организации и планирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог	70
Громская Л.Я., Артемьев В.В., Левушкин Д.М. Методика определения стоимости строительства лесных автомобильных дорог	77

ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

Ковалева К.И., Горшков В.В., Политенкова Г.Г., Михалева М.Г., Мельников В.П., Герасимов Д.С., Никольский С.Н., Стовбун С.В. Экспериментальная лабораторная установка для физико-химического модифицирования древесной целлюлозы	84
Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А. Оценка влияния структуры и химического состава растительного наполнителя на свойства композитов теплоизоляционного назначения	94
Кононов Г.Н., Вережкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д., Горячев Н.Л., Воликова А.С. Поведение экстрактивных веществ «бурой гнили» при термических воздействиях и возможные пути их использования	102
Шалаев В.С., Рыкунин С.Н., Мелехов В.И. Прогнозирование исследований «лесной продукции»	110

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Алексеев А.В., Алексеев В.В., Князев Р.И., Котов Ю.Т., Полушкин В.М., Батырев Ю.П., Есаков В.А. Влияние условий эксплуатации на точностные характеристики преобразователей угол – параметр – код	118
Знаменская Т.Д. Вопросы надежности датчиков-преобразующей аппаратуры для ракетно-космической техники	125

Санаев В.Г., Обливин А.Н., Моисеев Н.А. Памяти А.С. Исаева, академика РАН, почетного доктора Московского государственного университета леса	134
---	-----

CONTENTS

BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

Belykh O.A., Rusetskaya G.D. Instruments effectiveness assessment to implement sustainable management principles of forest systems in Eastern Siberia	5
Ageev A.K., Ivankin A.N., Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Belyakov V.A. Radioecology of affected forest areas in the Belarus Republic through thirty years after Chernobyl disaster	14
Zalesova E.S., Ananiev E.M., Osipenko A.E., Shubin D.A., Terekhov G.G. Planting density effect on artificial pine stands stability	22
Nakvasina E.N., Nekrasova A.V., Prozherina N.A. Comparison of silver birch (<i>Betula pendula</i> Roth.) with different types of bark on vegetative and generative characteristics	28

LANDSCAPE ARCHITECTURE

Dormidontova V.V. Technocentrism and ecocentrism in the landscape architecture of the XX–XXI centuries	37
Leonova V.A., Dzhioeva Z.R. Cultural heritage objects of gardening features and areas with historical buildings of the city of Tskhinval (South Ossetia)	44

FOREST ENGINEERING

Rudov S.E., Shapiro V.Y., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. Interaction features of skidding system with thawing soil	52
Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A. Simulation of multioperational forestry machine for the production of lumbers and bundles of wood waste	62
Burmistrov D.V., Mogutnov R.V., Ryabova O.V., Safonova Yu.A., Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Postavichy S.A., Tchirkov E.V. Investigation of probabilistic relations and dependencies determining optimum methods of organization and planning of rhythmic construction of haulage roads	70
Gromskaya L.Y., Artemev V.V., Levushkin D.M. Method of determining forest roads construction cost	77

CHEMICAL PROCESSING OF WOOD

Kovaleva K.I., Gorshkov V.V., Politenkova G.G., Mikhaleva M.G., Melnikov V.P., Gerasimov D.S., Nikolsky S.N., Stovbun S.V. Experimental laboratory equipment for physical-chemical modification of wood pulp	84
Susoeva I.V., Vachnina T.N., Titunin A.A. Assessment of structure and chemical composition vegetable filler influence on composites properties of heat-insulating purpose	94
Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D., Goryachev N.L., Volikova A.S. Extractive substances behavior of «brown rot» under thermal exposure and possible ways of their use	102
Shalaev V.S., Rykunin S.N., Melekhov V.I. Forecasting Research of «Forest Products»	110

MATH MODELING

Alekseev A.V., Alekseev V.V., Knyazev R.I., Kotov Yu.T., Polushkin V.M., Batyrev Yu.P., Esakov V.A. Influence of operating conditions on the accuracy characteristics angle – parameter – code converters	118
Znamenskaya T.D. Reliability questions of sensor-transformating equipment for space rocket engineering	125

Sanaev V.G., Oblivin A.N., Moiseev N.A. In memory of A.S. Isaev, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honorary Doctor of Moscow State Forest University	134
---	-----

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНСТРУМЕНТОВ РЕАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИПОВ УСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ ЛЕСНЫМИ СИСТЕМАМИ В ВОСТОЧНОЙ СИБИРИ

О.А. Белых, Г.Д. Русецкая

Байкальский государственный университет, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, д. 11

belykh-oa@bgu.ru

Обсуждаются инструменты государственного регулирования системы эффективного ведения лесного хозяйства на основе принципов устойчивого лесопользования. Рассматриваются критерии, индикаторы и показатель расчетной лесосеки. Проведенный анализ возможного использования критериев и индикаторов для оценки лесопользования, разработанных международной группой, показывает, что он пока не получил необходимого применения, в то время как он довольно близко отражает современные представления об устойчивом управлении лесными системами при условиях их практической адаптации к различным почвенно-климатическим условиям. Для выявления применимости существующего метода определения расчетной лесосеки в практическом использовании выполнен экспертный анализ его применения в лесном хозяйстве Иркутской области. Показано, что использование расчетной лесосеки от всех видов рубок составило за последние пять лет 38–47 %. Из объема базы расчета лесосеки не исключались леса, в которых режим пользования ограничен законодательно. Результаты статистического анализа установили, что фактическая заготовка древесины от всех видов рубок в течение ряда лет составила менее половины размера расчетной лесосеки. Делается вывод о том, что порядок определения расчетной лесосеки в Восточной Сибири не отражает реальной ситуации и требует пересмотра для повышения эффективности устойчивого управления лесным комплексом.

Ключевые слова: устойчивое управление, критерии и индикаторы устойчивого управления лесами, лесные ресурсы, расчетная лесосека

Ссылка для цитирования: Белых О.А., Русецкая Г.Д. Оценка эффективности инструментов реализации принципов устойчивого управления лесными системами в Восточной Сибири // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 5-13. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-5-13

Концепция устойчивого развития на современном этапе развития государств мира — наиболее приемлемый подход, в котором стабильное социально-экономическое развитие отражает заботу о ныне живущих и будущих поколениях, не разрушая своей природной основы [1–8]. Особая роль в этом отводится лесным экосистемам как первоначальному, природному капиталу. Нерациональное расходование этого капитала ведет к деградации ресурсов и утрате уникальных функций леса. Леса в силу своей полифункциональности играют определяющую роль в достижении обеспечения продовольственной безопасности, содействия устойчивому развитию сельского хозяйства и борьбе с изменением климата. Декларация «Перспективы лесов и лесного хозяйства до 2050 г.» XIV Всемирного лесного конгресса, прошедшего в Дурбане, ЮАР (2015), является важной вехой на пути достижения целей в области устойчивого развития на период до 2030 г. На современном этапе состояния лесных систем понятие «устойчивое управление лесами» перекликается с понятиями «устойчивое лесное хозяйство», «устойчивое лесопользование». Система управления определяется поставленной целью и зависит от особенностей конкретной территории, наличия природных ре-

сурсов и специфики природопользования. Управлять возможно не природой, а только процессами ее использования. Начало формирования механизма устойчивого лесопользования было заложено в документах «Повестка дня на XXI век» и «Принципы лесоводства» (Рио-де-Жанейро, 1992). Были провозглашены принципы, которые сыграли важнейшую роль в разработке практических подходов к ведению устойчивого лесного хозяйства и способствовали их последующему закреплению в национальных законодательствах [2]. Позже принципы были отражены в межгосударственных критериях и индикаторах (КиИ). Эти критерии представляют собой международную «точку отсчета» для оценки оптимальных методов управления и дальнейшей работы [9]. Актуальность изучения особенностей государственного регулирования лесным хозяйством Иркутской области обусловлена не только наличием на ее территории значительных запасов лесных ресурсов, но и особенностями режима природопользования, действующими в соответствии с Федеральным законом «Об охране озера Байкал» от 1 мая 1999 г. № 94-ФЗ, который накладывает определенные экологические ограничения на существующую хозяйственную деятельность в регионе.

Цель работы

Цель исследования — провести экспертную оценку использования метода расчетной лесосеки, как инструмента реализации принципов устойчивого управления лесными системами в Восточной Сибири на примере лесных хозяйств Иркутской области.

Материалы и методы исследования

Материалами для обсуждения эффективности использования показателя расчетной лесосеки послужили статистические данные лесхозов Иркутской области, материалы ученых иркутских вузов и Сибирского отделения РАН. Общая площадь земель, покрытых лесной растительностью в Иркутской области, занимает 64,3 млн га, что составляет 90 % суммарной площади лесного фонда и лесов, расположенных на землях иных категорий. Древостой представлен с преобладанием основных лесобразующих пород (58,9 млн га или 91,7 %) и кустарниковыми зарослями (5,3 млн га или 8,3 %). В общегосударственном балансе доля земель с лесной растительностью Иркутской области составляет 8,1 %. В масштабах планеты это около 2 %. Распределение площади лесов области по целевому назначению: защитные леса занимают 21,9 % от их общей площади, эксплуатационные леса — 46,7 % и резервные леса — 31,4%. Резервные леса расположены лишь на землях лесного фонда, эксплуатационные — на землях лесного фонда и на землях обороны и безопасности, защитные леса — на землях всех категорий [10, 11]. Спелые и перестойные деревья занимают почти половину лесной площади и характеризуются крупномерностью. Запас древесины на 1 га превышает 160 м³. Среднегодовой прирост древесины на территории Иркутской области оценивается в 1,4 м³ на 1 га. Это меньше, чем в регионах с благоприятными почвенно-климатическими условиями и высоким уровнем развития лесного хозяйства, как за рубежом, так и в пределах России. Пригодные к рубке лесные массивы размещены по территории области крайне неравномерно. В местах традиционных лесозаготовок вдоль Транссибирской железнодорожной магистрали, вокруг Братского водохранилища лесосырьевые ресурсы истощены; в северных и восточных районах области лесозаготовка развита недостаточно, здесь наблюдается преобладание спелых и перестойных насаждений. В методологическую основу работы положены общенаучные методы исследования и экономико-математическое моделирование. Массивы многолетних данных анализировались одно-

и многомерными статистическими методами [13] с помощью пакета компьютерных программ Statistica 8. Для построения моделей использован регрессионный анализ.

Результаты и обсуждение

Определяющим аспектом современного состояния лесного хозяйства и лесопользования России является продолжающийся переход от директивной формы планирования и выполнения правительственных заданий к рыночной экономике. Этот период характеризуется появлением новых форм лесопользования и ведения лесного хозяйства, при которых лесопромышленное производство и большая часть лесохозяйственных работ осуществляется частными предпринимателями или государственными предприятиями в соответствии с рыночными стимулами [14]. Непосредственное управление лесами в России под контролем Рослесхоза осуществляют органы государственной власти субъектов РФ. Именно в их полномочия входит предоставление лесов в пользование, а также государственный лесной и пожарный надзор и контроль, управление лесами на землях собственности субъектов Российской Федерации. На местном уровне лесами управляют лесничества и лесопарки, а хозяйственную деятельность ведут арендаторы и специально созданные на базе бывших лесхозов хозяйственные структуры [15, 16]. Такая организация управления и охраны лесов связана со значительными нарушениями и потерями в лесном фонде. Существовавшая до 2006 г. система лесной охраны полностью разрушилась, настоящей лесной охраны в большинстве регионов России просто нет.

В существующей нормативно-правовой ситуации проблемы только усугубляются: чрезмерные по интенсивности и бессистемные заготовки древесины при неэффективном лесовосстановлении; незаконные рубки, в том числе на землях сельскохозяйственного назначения; неограниченные рубки в защитных лесах и другие запрещенные виды хозяйственной деятельности [17]. Полное обновление российского лесного законодательства проходило с 2006 г. до настоящего времени, но не решило эти проблемы, наоборот — новые нормы закона признают нарушениями вполне логичные действия предприятий лесного сектора и часто не дают наказывать нарушителей. Охрану лесов по разным направлениям в России осуществляют разные организации. Уход за лесами и охрана от незаконных рубок остаются в ведении арендаторов или организаций, созданных на базе бывших гослесхозов, которые через торги получают право вести хозяйственную деятельность на территории лесов [18]. В российском лесном законодательстве декларируются принци-

пы устойчивого управления лесами, сохранения биологического разнообразия лесов, соблюдение других полезных функций лесных систем. Однако пока не сложилась система управления для реализации этих принципов.

Среди многих инструментов реализации принципов управления устойчивым лесным комплексом (внедрение современных промышленных технологий, выбор системы рубок и ухода за лесами и др.) необходимы критерии, определяющие стратегическое направление и основные пути практической деятельности в лесных системах на основе принятых принципов сохранения биоразнообразия, рационального, многоцелевого и неистощительного лесопользования. Соответствие критериев устойчивого управления лесами на уровне практического ведения лесного хозяйства может контролироваться и корректироваться по соответствующим индикаторам: 1) изменение доли площади эксплуатационных лесов относительно общей площади лесных земель (ежегодно); 2) изменение доли площади лесов, возможных для эксплуатации, относительно площади покрытых лесом земель (ежегодно); 3) изменение площади доступных для освоения эксплуатационных лесов относительно общей площади лесов, возможных для эксплуатации, — древесных ресурсов (данные ГИС); 4) отношение допустимого (расчетного) и фактически вырубаемого объема древесины в эксплуатационных лесах по хвойному хозяйству (ежегодно); 5) изменение доли площади покрытых лесом лесных земель (ежегодно); 6) баланс среднего прироста и общего объема вырубаемой древесины (ежегодно).

Федеральная служба лесного хозяйства Российской Федерации в целях реализации «Концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию» в части устойчивого лесопользования утвердила «Критерии и индикаторы устойчивого управления лесами Российской Федерации» (далее КиИУУЛ), предназначенные для оценки ситуации на национальном уровне [18]. Этот документ базировался на КиИУУЛ для лесов Европы (Хельсинский процесс) и умеренной зоны и для бореальных лесов мира (Монреальский процесс). Разработанные критерии определяют выполняемые в лесах функции и используются по следующим направлениям: поддержание и сохранение продуктивной способности лесов; поддержание приемлемого санитарного состояния и жизнеспособности лесов; сохранение и поддержание защитных функций лесов; сохранение и поддержание биологического разнообразия лесов и их вклада в глобальный углеродный цикл; поддержание социально-экономических функций лесов; разработка инструментов лесной политики для устойчивого управления лесами.

В региональных рекомендациях критерии определены как стратегические направления практической деятельности для осуществления их принципов, как совокупность положений по ведению лесного хозяйства, следование которым обеспечивает устойчивое развитие. Анализ изменений совокупности индикаторов с течением времени должен стать одним из инструментов контроля за управлением лесами как на уровне страны в целом, так и на уровне субъекта или группы субъектов [19–21]. При сохранении разработанных критериев целесообразна их адаптация к региональным особенностям лесов в практике управления лесными системами. Критерии и индикаторы устойчивого управления лесами дают возможность проводить комплексную оценку состояния лесного фонда и осуществлять контроль за управлением лесами на уровне субъектов и страны в целом, они могут носить количественный или описательный характер. Расчет индикаторов, позволяет определять процесс изменения лесных систем при хозяйственном освоении и степень их устойчивости. Для поддержания устойчивости природных систем необходимо, чтобы запасы ресурсов не уменьшались в долгосрочной перспективе, так как достижение устойчивости непосредственно связано с продуктивностью ресурсов леса.

С точки зрения устойчивого управления лесами также одним из наиболее действенных инструментов является порядок расчетной лесосеки. Размер расчетной лесосеки должен определяться в соответствии с лесохозяйственным регламентом и исчисляться по каждому лесничеству и лесопарку отдельно для эксплуатационных и защитных лесов по хозяйствам (хвойному, твердолиственному и мягколиственному) с распределением общего объема допустимого ежегодного изъятия древесины для каждого хозяйства по преобладающим породам на основании данных лесостроительства, Государственного лесного реестра или специальных обследований лесов. В «Порядке исчисления расчетной лесосеки», утвержденном Приказом Федерального агентства лесного хозяйства РФ от 27 мая 2011 г. № 191, не только предусматриваются применимость расчетной лесосеки и механизмы ее определения, но и даны конкретные формулы ее расчета [22, 23]. Для определения оптимального размера расчетной лесосеки при сплошных рубках ее исчисление осуществляется по следующим схемам: лесосеки равномерного пользования; первой возрастной лесосеки; второй возрастной лесосеки; интегральной лесосеки; лесосеки по состоянию (в случаях, когда запас древесины поврежденных и усыхающих лесных насаждений соответствующей породы составляет более 50 % общего запаса древесины спелых и перестойных лесных насаждений).

Объем расчетной лесосеки, исчисленный по методу равномерного пользования, является оптимальным в лесах с относительно равномерным распределением площади лесных насаждений и запасов древесины соответствующего хозяйства по группам возраста. Метод первой возрастной категории лесосеки является оптимальным в хозяйствах с истощенными запасами древесины спелых и перестойных лесных насаждений (менее 20 % от общего запаса древесины в лесных насаждениях соответствующего хозяйства). Расчетная лесосека, исчисленная методами второй возрастной и интегральной лесосеки, является оптимальной для тех лесов, где запасы древесины спелых и перестойных лесных насаждений составляют более 50 % от общего запаса древесины в соответствующих хозяйствах.

При заготовке древесины спелых и перестойных лесных насаждений выборочными рубками, а также при заготовке древесины при вырубке погибших и поврежденных лесных насаждений, при уходе за лесом расчетная лесосека исчисляется исходя из интенсивности рубки (процент изымаемого за один прием рубки запаса древесины) и периодов повторения приемов рубок. Оптимальная расчетная лесосека не должна быть меньше расчетной лесосеки, исчисленной методом лесосеки по состоянию, и больше размера общего среднего прироста древесины лесных насаждений соответствующего хозяйства и преобладающих пород. В хозяйствах с истощенными запасами древесины спелых и перестойных лесных насаждений расчетная лесосека должна обеспечивать использование запасов древесины хвойных и твердолиственных лесных насаждений семенного происхождения за период не менее 10 лет, а мягколиственных насаждений — не менее 5 лет. В отдельных случаях в качестве оптимального может приниматься размер расчетной лесосеки, имеющий промежуточное значение между размерами, исчисленными разными методами, если он наиболее полно отвечает условиям обеспечения: многоцелевое, рациональное, непрерывное, неистощительное использование лесов, исходя из установленных возрастов рубок, сохранение биологического разнообразия, водоохранных, защитных и иных полезных свойств лесов.

Все способы определения расчетной лесосеки, предусмотренные «Порядком исчисления расчетной лесосеки», при определенных условиях обеспечивают быстрое истощение древесных ресурсов в транспортнодоступных местах. Наибольшую неопределенность в структуре расчетной лесосеки создают экономически недоступные леса, а экономическая доступность или недоступность того или иного леса для лесопользования зависит от экономической ситуации в стране,

состояния лесной отрасли, лесного рынка, цен на топливо, наличия государственной поддержки, строительства лесных дорог и множества других обстоятельств. Прогнозировать их на более или менее длительный срок в отечественных условиях практически нереально. Таким образом, на практике недостаточно учитывается, что лесные участки могут иметь различную исходную возрастную и породную структуру насаждений, например, леса урегулированные, относительно равномерно распределенные по возрасту, леса с дефицитом спелых древостоев и т. д. Применяемые на практике методы расчета неполно отражают изменение возрастной и породной структуры насаждения в процессе лесопользования, а также процессы лесовосстановления, вероятные потери от пожаров, повреждения вредителями и болезнями и пр. [24, 25].

Для выявления эффективности существующего метода расчетной лесосеки в практическом использовании выполнен анализ его применения в лесном хозяйстве Иркутской области. В 2014–2016 гг. ежегодный допустимый объем изъятия древесины при всех видах рубок — расчетная лесосека по лесничествам лесного хозяйства Иркутской области — составляет 72,8 млн м³. Это означает, что столько лесных насаждений разрешается вырубить за год во всех лесничествах области. Учетный объем заготовки древесины от всех видов рубок по лесному хозяйству Иркутской области в 2015 г. составил 34,2 млн м³. На рис. 1 представлена динамика объемов допустимого изъятия древесины (расчетная лесосека) и фактического их использования в границах лесного хозяйства Иркутской области за период 2012–2016 гг.

В данный период использование расчетной лесосеки от всех видов рубок составило 38–47 %. Процент использования расчетной лесосеки по Иркутской области в зависимости от возраста деревьев проанализирован в таблице.

Полученные результаты согласуются с многочисленными сведениями о низкой эффективности использования этого показателя [26–28]. Данные объема расчетной лесосеки показывают, что в лесах Иркутской области есть большие резервы для развития лесной промышленности без истощения лесов, однако, уже на сегодняшний день, некоторые лесничества Иркутской области (Иркутское, Тулунское, Заларинское, Куйтунское, Осинское, Кировское) испытывают недостаток в спелом древостое. Это связано с тем, что на территории вышеуказанных лесничеств не проводится лесоустройство. Материалы лесоустройства, на основании которых исчислялась расчетная лесосека, устарели. Средняя давность проведения лесоустройства по области в настоящее время составляет около 30 лет.

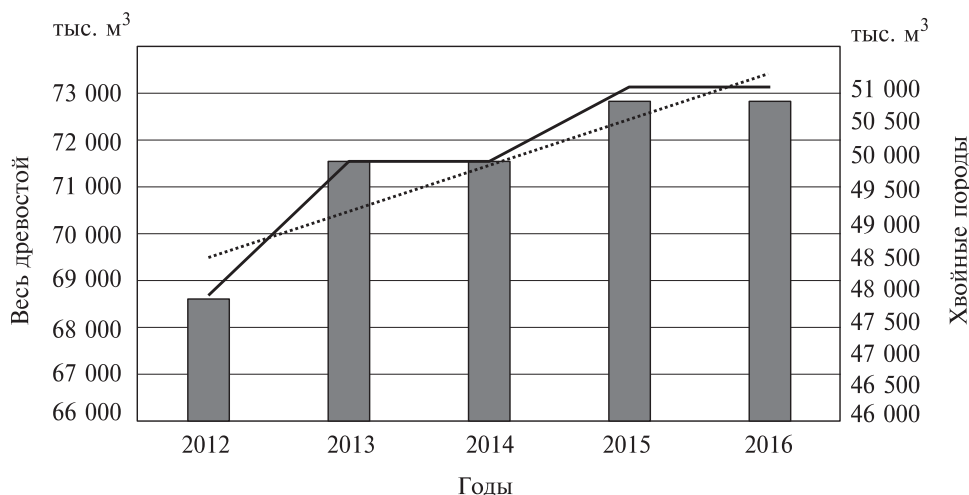


Рис. 1. Структура допустимого объема лесозаготовок в Иркутской области с учетом лесообразующих пород [26]

Fig. 1. The structure of the allowable volume of logging in Irkutsk region, taking into account forest-forming species [26]



Рис. 2. Динамика объемов допустимого изъятия древесины и фактического их использования в границах лесного хозяйства Иркутской области [26]

Fig. 2. Dynamics of allowable removal volumes of wood and their actual use within the borders of the forestry in Irkutsk Region [26]

Процент использования расчетной лесосеки по Иркутской области в зависимости от возраста дровостоя

Percentage of the use of calculated logging in the Irkutsk region, depending on the age of the stand

Наименование показателя	2012 г.		2013 г.		2014 г.		2015 г.		2016 г.	
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
Процент от всех видов рубок	38,0	46,7	35,1	43,5	37,6	46,9	40,0	48,9	47,0	56,0
Процент от рубок спелых и перестойных лесных насаждений	31,4	39,0	32,3	41,6	34,1	44,3	37,2	46,8	45,0	56,0

Примечание. I — показатели от всего дровостоя; II — в том числе по хвойному хозяйству.

Произошедшие изменения за это время не нашли выражение в лесной статистике. Это означает, что база для исчисления расчетной лесосеки в среднем по области отражает ту ситуацию, которая была три десятилетия назад. За этот период было много вырублено леса, повреждено вредителями или сгорело. Кроме того, есть леса, в которых режим пользования официально ограничен, но они не исключены из базы для определения расчетной лесосеки (например, региональные заказники). Есть леса, в которых режим пользования должен быть ограничен по законодательству, но официально они не выделены (водоохранные зоны вдоль рек, ручьев и озер).

Расчетная лесосека вычисляется на основании данных о современной структуре земель лесного фонда без учета данных о приросте лесов [29–32]. Во многих случаях исчисленная расчетная лесосека может существенно превышать этот прирост. Таким образом, ориентация на экстенсивную модель использования лесных ресурсов, т. е. на полное использование расчетной лесосеки, во многих случаях автоматически приведет к истощительному лесопользованию и быстрому сокращению доступных лесов Иркутской области. Структура допустимого объема лесозаготовок в Иркутской области с учетом лесообразующих пород представлена на рис. 2.

Как видно из данных, за последние пять лет объем расчетной лесосеки по всем видам рубок показал прирост объема на 5,7 %, в том числе по хвойному хозяйству на 6,3 %, с достоверностью $R^2 = 0,8$.

В настоящее время в целях реализации ст. 29.1, ст. 30 ЛК РФ с большим трудом подбираются лесные насаждения, имеется «дефицит» в лесных насаждениях. Некоторые арендаторы лесных участков с трудом набирают лесосечный фонд на срок действия проектов освоения лесов. Расчетная лесосека на несколько десятилетий не может быть достоверной.

По состоянию на декабрь 2016 г. лесосырьевые ресурсы Иркутского лесничества истощены, остро стоит проблема с выделением древесины на территории лесничества. Основные причины истощения лесных ресурсов — незаконные рубки, лесные пожары. В действительности размер расчетной лесосеки оказался сильно завышен и не отражает состояние лесного фонда. Фактически размер расчетной лесосеки в Иркутской области — это административная величина, хотя и рассчитываемая по установленному методу; в действительности не соответствует реальной ситуации в лесах, не отражает возможные объемы заготовки древесины.

Выводы

Восточная Сибирь обладает крупнейшими в мире лесными ресурсами и ценностями общеглобального значения в плане сохранения биоразнообразия и предотвращения изменения климата, ее лесной сектор имеет огромное национальное и мировое значение. В числе инструментов реализации принципов устойчивого управления лесными системами необходимо использование критериев, определяющих стратегические направления практической деятельности, отвечающих принципам, заложенным в лесной политике страны. Изучение эффективности использования метода определения расчетной лесосеки для реализации устойчивого управления лесными системами на примере лесхозов Иркутской области позволило сделать следующие выводы.

1. Анализ временных рядов индикаторов с учетом региональных особенностей лесов с течением времени позволит дать оценку критериев, характеризующих в целом состояние и восстановление разрушенных лесных систем, сохранение биоразнообразия и поддержание продуктивной, защитной, социально-экономической и других функций лесов, а также контроль эффективности управления лесами на всех уровнях.

2. Показано, что использование расчетной лесосеки от всех видов рубок составило 38–47 %. Повышенный порядок расчетной лесосеки не соответствует критериям и индикаторам устойчивого лесопользования. Ориентация на более полное использование расчетной лесосеки неизбежно породит проблемы лесного хозяйства в будущем.

3. Исчисление расчетных лесосек как инструмента эффективного лесопользования требует пересмотра и разработки новых подходов к определению ежегодно допустимых объемов изъятия древесины на основе биологической модели роста деревьев, обеспечивающих реальную, неистощительность лесопользования, с учетом возраста, когда средний ежегодный прирост достигает максимальной величины, закономерностей строения и развития древостоев и количества потребности в древесине. Осуществить переход к модели, основанной на данных ГИС, которая позволит дать географическое представление о доступности ресурсов в пространстве.

Список литературы

- [1] Спасти нашу планету. Проблемы и надежды // Программа ООН по окружающей среде (ЮНЕП). Найроби, 1992. 314 с.
- [2] Программа действий. Повестка дня на XXI век и другие документы конференции в Рио-де-Жанейро в популярном изложении. Женева: Центр «За наше общее будущее», 1993. 300 с.

- [3] Русецкая Г.Д. Концептуальные основы стратегии устойчивого развития. Иркутск: ИГЭА, 1999. 21 с.
- [4] Данилов-Данильян В.И., Лосев К.С. Экологический вызов и устойчивое развитие. М.: Прогресс; Традиция, 2001. 560 с.
- [5] Van den Belt M. Changing Course: A global business perspective on development and environment: Stephan Schmidheiny with the Business Council for Sustainable Development // Ecological Economics. Elsevier, 1994, v. 9(2), pp. 180–181.
- [6] О концепции перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Указ Президента Российской Федерации от 1 апреля 1996 г. № 440. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=233558#08645422012185123> (дата обращения 10.01.2018).
- [7] Tietenberg T., Lewis L. Environmental & Natural Resource Economics. London, England: Pearson, 2014. 631 p.
- [8] Pearee D., Barbier E. Blueprint for a Sustainable economy. London: Earthscan Publications Ltd, 2000. 243 p.
- [9] Коропаческий М.Л., Тепляков В.К., Яницкая Т.О. Основы устойчивого лесопользования / под ред. А.В. Беляковой, Н.М. Шматовой. М.: WWF России, 2014. 266 с.
- [10] Русецкая Г.Д. Устойчивое управление, экологические законы и проблемы лесных систем // Известия ИГЭ, 2015. Т. 25. № 3. С. 408–414.
- [11] Белых О.А. Региональные ресурсы полезных растений для экономики // Baikal research journal, 2012. № 1. С. 21–28.
- [12] Носков В.П. Введение в регрессионный анализ рядов. М.: Москва, 2002. 252 с.
- [13] Лесной комплекс Иркутской области: стат. сб. Иркутск: Иркутскстат, 2015. С. 11.
- [14] Лесной план Иркутской области [электронный ресурс]. URL: <http://irkobl.ru/sites/alh/documents/lesplan/> (дата обращения 10.01.2018).
- [15] Лесной кодекс РФ от 4 декабря 2006 г. в последней действующей редакции от 1 марта 2017 г. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (дата обращения 10.01.2018).
- [16] Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации на период до 2020 г. Приказ Министерства промышленной торговли Российской Федерации № 482 от 31.10.2008. URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99108/ (дата обращения 10.01.2018).
- [17] Russia: forest policy during transition. A world Bank country study. Washington : World bank, 1997. 342 p.
- [18] Кто отвечает за управление российскими лесами. Центр общественного мониторинга общероссийского народного фронта по проблеме экологии и защиты леса. М.: Общероссийский народный фронт, 2015. 68 с.
- [19] Об утверждении Критериев и индикаторов устойчивого управления лесами Российской Федерации. Приказ Рослесхоза от 5 февраля 1998 г. № 21. URL: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=323357#04729592553592431> (дата обращения 28.12.2017).
- [20] Об утверждении Концепции устойчивого управления лесами Российской Федерации. Приказ Рослесхоза от 31 июля 1998 г. № 6. URL: <http://www.law.edu.ru/norm/norm.asp?normID=1278280> (дата обращения 10.01.2018).
- [21] Критерии и индикаторы устойчивого управления лесами на уровне лесадминистративной единицы (лесхоза) в центральной и южной части Хабаровского края. Хабаровск: Всемирный фонд дикой природы, 1999. 39 с.
- [22] Исаев А.С., Коровин Г.Н. Актуальные проблемы национальной лесной политики. М.: Типография Левко, 2009. 108 с.
- [23] Дицевич Я.Б., Белых О.А., Русецкая Г.Д. Противодействие преступности в сфере лесопользования: проблемы и перспективы // Всероссийский криминологический журнал, 2017. Т. 11. № 2. С. 308–317.
- [24] Об утверждении Порядка исчисления расчетной лесосеки. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства РФ от 27 мая 2011 г. №191. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902283266> (дата обращения 15.11.2017).
- [25] Соколов В.А., Багинский В.Ф. О методике исчисления расчетных лесосек // Сибирский лесной журнал, 2014. № 5. С. 9–15.
- [26] Объем заготовленной древесины: офиц. стат. показатели Федер. агентства лес. хоз-ва // ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/37848> (дата обращения 15.11.2017).
- [27] Свалов Н.Н. Моделирование производительности древостоев и теория лесопользования. М.: Лесная пром-ть, 1979. 216 с.
- [28] Соколов В.А., Втюрина О.П., Соколова Н.В. О ежегодной расчетной лесосеке в лесах Сибири // Интерэкспо Гео-Сибирь, 2017. Т. 3. № 2. С. 213–218.
- [29] Коропачев В.П., Пережилин А.Н., Андрияс А.А. Использование лесных ресурсов в России // Хвойные бореальные зоны. XXXIV, 2016. № 1–2. С. 56–60.
- [30] Кобяков К.Н. Непрерывное неистощительное пользование лесом или расчетная лесосека // Устойчивое лесопользование, 2014. № 3 (40). С. 13–20.
- [31] Соколов В.А. Организация устойчивого использования лесов Сибири // Лесохозяйственная информация, 2013. № 2. С. 52–59.
- [32] Кархова С.А., Давыдова Г.В. Деградация лесов мира и проблема обезлесения. Материалы международной научно-практической конференции // Евроазиатское сотрудничество, 2017. С. 109–118.

Сведения об авторах

Белых Ольга Александровна — доктор биологических наук, профессор кафедры торгового и таможенного дела Байкальского государственного университета, belykh-oa@bgu.ru

Русецкая Генриетта Денисовна — доктор технических наук, профессор кафедры экономики и управления бизнесом Байкальского государственного университета, gusetskaya-gd@bgu.ru

Поступила в редакцию 19.02.2018.

Принята к публикации 24.10.2018.

INSTRUMENTS EFFECTIVENESS ASSESSMENT TO IMPLEMENT SUSTAINABLE MANAGEMENT PRINCIPLES OF FOREST SYSTEMS IN EASTERN SIBERIA

O.A. Belykh, G.D. Rusetskaya

Baikal State University, 11, Lenin st., 664003, Irkutsk, Russia

belykh-oa@bgu.ru.

The article examines the implementation tools for sustainable forest management — criteria and indicators, and the yield logging site. The lack of a methodology, clear legislative acts, necessary regulations and tools continues to destroy the forest management system that has developed over more than 200 years, as a result, this work is not systematic and inefficient. An analysis of the possible use of criteria and indicators for assessing the rational forest management of the environmental orientation developed by the international group did not receive the necessary application in forest management, although a set of criteria and indicators rather closely reflects modern ideas about sustainable management of forest systems under conditions of their practical adaptation to different geographic conditions. The index of estimated logging area is the most important from point of view of sustainable forest management. In order to reveal the possibilities of practical use of the existing method of the allowable cut, we analyzed its application in the forestry of Irkutsk region. Instruments (materials) of forest management, on the basis of which calculated the estimated logging area are obsolete. From the basis for calculating the cutting area, we did not exclude forests in which the regime of use is limited by law. As a result, the actual harvesting of timber from all types of logging was less than half of the estimated cutting area. In this way, the size of the estimated logging area in Irkutsk region does not represent the actual situation and does not meet the criteria and indicators of sustainable forest management. We make a conclusion, that the methods of calculations of yield logging site require a review and create a new approaches determinate annually admissible removals of wood, which ensure a real inexhaustibility of forest use.

Keywords: sustainable management, criteria and indicators for sustainable forest management, forest resources, estimated cutting area

Suggested citation: Belykh O.A., Rusetskaya G.D. *Otsenka effektivnosti instrumentov realizatsii printsipov ustoychivogo upravleniya lesnymi sistemami v Vostochnoy Sibiri* [Instruments effectiveness assessment to implement sustainable management principles of forest systems in Eastern Siberia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-5-13

References

- [1] *Spasti nashu planetu. Problemy i nadezhdy* [Save our planet. Problems and hopes] United Nations Environment Program (UNEP). Nairobi, 1992, 314 p.
- [2] *Programma deystviy. Povesitka dnya na 21 vek i drugie dokumenty konferentsii v Rio-de-Zhaneiro v populyarnom izlozhenii* [Program of Action. Agenda 21 and other documents of the Conference in Rio de Janeiro in a popular presentation]. Geneva: Tsentri «Za nashe obshchee budushchee» [Center For Our Common Future], 1993, 300 p.
- [3] Rusetskaya G.D. *Kontseptual'nye osnovy strategii ustoychivogo razvitiya* [Conceptual framework for sustainable development strategy]. Irkutsk: IGEA, 1999, 21 p.
- [4] Danilov-Danil'yan V.I., Losev K.S. *Ekologicheskii vyzov i ustoychivoe razvitiye* [Ecological challenge and sustainable development]. Moscow: Progress. Traditsiya [Progress. Tradition], 2001, 560 p.
- [5] Van Den Belt M. Changing Course: A Global Business Development Report. *Ecological Economics*, Elsevier, 1994, v. 9 (2), pp. 180–181.
- [6] *O kontseptsii perekhoda Rossiyskoy Federatsii k ustoychivomu razvitiyu. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 1 aprelya 1996 g. № 440* [On the concept of the transition of the Russian Federation to sustainable development. Decree of the President of the Russian Federation of April 1, 1996 No. 440] Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=233558#08645422012185123> (accessed 10.08.2018).
- [7] Tietenberg T., Lewis L. *Environmental & Natural Resource Economics*. London, England: Pearson, 2014, 631 p.
- [8] Pearee D., Barbier E. *Blueprint for a Sustainable economy*. London: Earthscan Publications Ltd, 2000, 243 p.
- [9] Koropacheskii M.L., Teplyakov V.K., Yanitskaya T.O. *Osnovy ustoychivogo lesoupravleniya* [Fundamentals of sustainable forest management]. Ed. A.V. Belyakova, N.M. Shmatokova. Moscow: WWF Russia, 2014, 266 p.
- [10] Rusetskaya G.D. *Ustoychivoe upravlenie, ekologicheskie zakony i problemy lesnykh sistem* [Sustainable management, environmental laws and problems of forest systems]. *Izvestiya IGEA*, 2015, v. 25, no. 3, pp. 408–414.
- [11] Belykh O.A. *Regional'nye resursy poleznykh rasteniy dlya ekonomiki* [Regional resources of useful plants for the economy]. *Baikal research journal*, 2012, no. 1, pp. 21–28.
- [12] Noskov V.P. *Vvedenie v regressiionnyy analiz ryadov* [Introduction to regression analysis of series]. Moscow: Moskva [Moscow], 2002, 252 p.
- [13] *Lesnoy kompleks Irkutskoy oblasti: stat. sb.* [Forest complex of the Irkutsk region: stat.]. Irkutsk: Irkutskstat, 2015, p. 11.
- [14] *Lesnoy plan Irkutskoy oblasti* [Forest Plan of the Irkutsk Region]. Available at: <http://irkobl.ru/sites/alh/documents/lesplan/> (accessed 10.08.2018).
- [15] *Lesnoy kodeks RF ot 04.12.2006 v posledney deystvuyushchey redaktsii ot 1 marta 2017 goda* [The Forest Code of the Russian Federation dated December 4, 2006, as amended up to March 1, 2017]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/ (accessed 10.08.2018).

- [16] *Ob utverzhdenii Strategii razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii na period do 2020 g. Prikaz Ministerstva promyshlennoy torgovli Rossiyskoy Federatsii № 482 ot 31.10.2008* [On approval of the Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation for the period up to 2020. Order of the Ministry of Industrial Trade of the Russian Federation No. 482 dated 10/31/2008]. Available at: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_99108/ (accessed 10.08.2018).
- [17] Russia: forest policy during transition. A world bank country study. Washington: World bank, 1997. 342 p.
- [18] *Kto otvechaet za upravlenie rossiyскими лесами. Tsentр obshchestvennogo monitoringа obshcherossiyskogo narodnogo frontа po probleme ekologii i zashchity lesа* [Who is responsible for managing Russian forests? Center for Public Monitoring of the All-Russian Popular Front on the problem of ecology and forest protection]. Moscow: All-Russian Popular Front, 2015, 68 p.
- [19] *Ob utverzhdenii Kriteriev i indikatorov ustoychivogo upravleniya lesami Rossiyskoy Federatsii. Prikaz Rosleskhoza ot 5 fevralya 1998 g. № 21* [On approval of criteria and indicators of sustainable forest management in the Russian Federation. Order of the Rosleskhoz of February 5, 1998 № 21]. Available at: <http://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=323357#04729592553592431> (accessed 28.12.2017).
- [20] *Ob utverzhdenii Kontseptsii ustoychivogo upravleniya lesami Rossiyskoy Federatsii. Prikaz Rosleskhoza ot 31 iyulyа 1998 g. № 6* [On approval of the Concept of Sustainable Forest Management in the Russian Federation. Order of the Federal Forestry Agency of July 31, 1998 No. 6]. Available at: <http://www.law.edu.ru/norm/norm.asp?normID=1278280> (accessed 10.08.2018).
- [21] *Kriterii i indikatorы ustoychivogo upravleniya lesami na urovne lesoadministrativnoy edinitsy (leskhoza) v tsentral'noy i yuzhnoy chasti Khabarovskogo kraya* [Criteria and indicators for sustainable forest management at the level of the forest administrative unit (leshoz) in the central and southern part of the Khabarovsk Territory]. Khabarovsk: World Wide Fund for Nature, 1999, 39 p.
- [22] Isaev A.S. Korovin G.N. *Aktual'nye problemy natsional'noy lesnoy politiki* [Actual problems of national forest policy]. Moscow: Levko Printing House, 2009, 108 p.
- [23] Ditsevich Ya.B., Belykh O.A., Rusetskaya G.D. *Protivodeystvie prestupnosti v sfere lesopol'zovaniya: problemy i perspektivy* [Counteraction of crime in the field of forest management: problems and prospects]. *Vserossiyskiy kriminologicheskiy zhurnal* [All-Russian Criminological Journal], 2017, v. 11, no. 2, pp. 308–317.
- [24] *Ob utverzhdenii Poryadka ischisleniya raschetnoy lesoseki. Prikaz Federal'nogo Agentstva lesnogo khozyaystva RF ot 27.05.2011 g. №21276* [On approval of the procedure for calculating the calculated cutting area. Order of the Federal Forestry Agency of the Russian Federation of 27.05.2011, No. 21276]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902283266> (accessed 15.11.2017).
- [25] Sokolov V.A. Baginskiy V.F. *O metodike ischisleniya raschetnykh lesosek* [On the method of calculating calculated cutting areas]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2014, no. 5, pp. 9–15.
- [26] *Ob 'em zagotovlennoy drevesiny: ofits. stat. pokazateli Feder. agentstva les. khoz-va* [Volume of wood harvested: official stat. Feder indicators. forest agency households] EMISS. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/37848> (accessed 15.11.2017).
- [27] Svalov N.N. *Modelirovanie proizvoditel'nosti drevostoev i teoriya lesopol'zovaniya* [Simulation of productivity of forest stands and the theory of forest use]. Moscow: Forest industry, 1979, 216 p.
- [28] Sokolov V.A., Vtyurina O.P., Sokolova N.V. *O ezhegodnoy raschetnoy lesoseke v lesakh Sibiri* [About the annual allowable cutting area in the forests of Siberia]. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo Geo-Siberia], 2017, v. 3, no. 2, pp. 213–218.
- [29] Koropachev V.P., Perezhilin A.N., Andriyas A.A. *Ispol'zovanie lesnykh resursov v Rossii* [Use of forest resources in Russia]. *Khvoynye boreal'nye zony* [Coniferous Boreal Zones], XXXIV, 2016, no. 1–2, pp. 56–60.
- [30] Kobyakov K.N. *Nepreryvnoe neistoshchitel'noe pol'zovanie lesom ili raschetnaya lesoseka* [Continuous non-depleting forest use or calculated cutting area]. *Ustoychivoe lesopol'zovanie* [Sustainable forest management], 2014, no. 3 (40), pp. 13–20.
- [31] Sokolov V.A. *Organizatsiya ustoychivogo ispol'zovaniya lesov Sibiri* [Organization of Sustainable Use of Siberian Forests]. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forest Management Information], 2013, no. 2, pp. 52–59.

Authors' information

Belykh Ol'ga Aleksandrovna — Dr. Sci. (Biology), Professor, Department of Taxes and Customs Regulation, Baikal State University, belykh-oa@bgu.ru

Rusetskaya Genrietta Denisovna — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Department of Economics and Business Administration, rusetskaya-gd@bdu.ru

Received 19.02.2018.

Accepted for publication 24.10.2018.

РАДИОЭКОЛОГИЯ ЗАРАЖЕННЫХ ЛЕСНЫХ АРЕАЛОВ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ ЧЕРЕЗ ТРИДЦАТЬ ЛЕТ ПОСЛЕ ЧЕРНОБЫЛЯ

А.К. Агеев, А.Н. Иванкин, Г.А. Горбачева, В.Г. Санаев, В.А. Беляков

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

Радиоактивное загрязнение лесных экосистем создало условия, при которых в течение многих лет невозможно обычное ведение лесного хозяйства и многоцелевое использование леса. В работе дана современная оценка состояния лесного ареала, подвергшегося воздействию радионуклидов после аварии на Чернобыльской АЭС, на примере отдельных лесничеств Республики Беларусь. Показано, что на некоторых участках лесного фонда даже через три десятилетия, количество выпавших радиоактивных веществ может, не вызывая прямого поражения растений и животных, по общему уровню радиоактивной контаминации превышать допустимые нормы содержания в продукции лесного хозяйства и безопасные дозы облучения людей. Сделана оценка экологического состояния лесного ареала и исследовано распределение радиационного загрязнения отдельных участков лесной зоны республики Беларусь по уровням содержания радионуклида ^{137}Cs . Представлены данные изменений в 2010–2017 гг. содержания радионуклида в грибной биомассе, а также в древесине березы, ели и сосны. Показано, что средний уровень содержания радионуклида в грибах за последний десятилетний период монотонно снижался с 2500 до 420 Бк/кг, а в древесине уровень радиационного загрязнения сегодня составляет на самых загрязненных лесных участках 50–120 Бк/кг, что не превышает допустимые уровни безопасности. Дан прогноз улучшения экологического состояния леса с точки зрения полного обеззараживания исследованных территорий и показано на основе расчетных значений изменения радиационного фона, что на территории семи лесничеств, отнесенных к первой, второй, третьей и четвертой зонам с плотностями загрязнения почвы ^{137}Cs 37–1480 кБк/м², фактическая площадь загрязнения с 2015 г. монотонно снижается с первоначальных значений 3–99 % до примерно половины к 2031 г. Полное обеззараживание по прогнозу может произойти к 2111 г.

Ключевые слова: радиоэкология лесного ареала, распределение радионуклидов, уровни радиационного загрязнения, прогноз снижения

Ссылка для цитирования: Агеев А.К., Иванкин А.Н., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Беляков В.А. Радиоэкология зараженных лесных ареалов республики Беларусь через тридцать лет после Чернобыля // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 14–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-14-21

Как известно, результатом аварии на Чернобыльской АЭС в апреле 1986 г. явилось появление в центре Европы природно-техногенного образования площадью 4 млн га из радиоактивно загрязненных лесов, которые прочно закрепили в своем биологическом круговороте аварийные радионуклиды.

Беларусь относится к странам с высокой лесистостью — около 36 % территории республики покрыты лесами. Лесные ресурсы играют важную роль в экономике страны, ее климате и экологии. Около 1,7 млн га лесных площадей находится в зоне радиоактивного загрязнения в результате аварии на ЧАЭС [1, 2].

С момента аварии на ЧАЭС лесные экосистемы выполняют свои природные функции и являются естественным барьером на пути потоков радионуклидов и препятствуют их вторичному перераспределению. Леса проявили себя как аккумуляторы радиоактивных выпадений, накопив большое количество радионуклидов [3–5].

Из 88 лесхозов Беларуси радиоактивное загрязнение выявлено в 50. Основной задачей ведения лесного хозяйства на загрязненных радионуклидами лесных территориях является

получение максимально возможного объема нормативно чистой древесной продукции. В настоящее время основным регламентирующим документом по лесопользованию на загрязненных радионуклидами лесных территориях являются «Правила ведения лесного хозяйства в зонах радиоактивного загрязнения», в которых заложен ограничительный параметр лесопользования, зависящий от величины плотности загрязнения почвы радионуклидами [6].

В первые годы после аварии основное внимание уделялось исследованиям, направленным прежде всего на определение доз облучения населения города Припяти и близлежащих районов 30-километровой зоны. В настоящее время эти вопросы достаточно хорошо исследованы и работы в этом направлении сводятся к проведению радиационного мониторинга на загрязненных территориях. Сегодня на первый план выходит задача изучения воздействия радиоактивного загрязнения на всю экосистему в целом, динамику развития экологической ситуации в загрязненных районах. В частности, значительный интерес представляет вопрос миграции радионуклидов в лесных экосистемах [7, 8].

Важным фактором, определяющим степень радиационной загрязненности древесины, является возраст древостоя. Большое внимание уделяется содержанию образовавшегося в результате аварии радиоактивного изотопа ^{137}Cs с периодом полураспада около 30 лет.

В 1989–1990 гг. отмечалось превышение ^{137}Cs в древесине молодой сосны в 2,5 раза по сравнению со старыми деревьями, произрастающими на том же участке. Это обусловлено различием вклада в общую массу древесины меристематических тканей, концентрирующих ^{137}Cs , который обычно значительно выше у молодых деревьев. Определяющую роль играет также более поверхностное расположение корневой системы молодых растений [6].

В легких по механическому составу почвах процесс миграции радионуклидов вниз по профилю проходит быстро. И если в сосновых насаждениях со сформировавшейся на поверхности почвы подстилкой, являющейся своеобразным экраном, миграционные процессы несколько заторможены, то в молодых сосняках без подстилки содержание в верхнем 5-сантиметровом слое в 4 раза выше и продвижение его вглубь почвы происходит более интенсивно. Интенсивность потребления ^{137}Cs древесными растениями снижается по мере созревания древесины от возраста молодняка до возраста спелости насаждения в 3–5 раз. Наблюдается более высокая концентрация ^{137}Cs в древесине молодых насаждений по сравнению со средневозрастными и приспевающими, произрастающими в одинаковых почвенных условиях и с одинаковой плотностью загрязнения почв. Удельная активность древесины сосны в 80-летних насаждениях в 3,3 раза меньше, чем в сосновом молодняке, а в 50-летних — в 2,4 раза. По-видимому, это связано с наличием в спелых насаждениях ядровой древесины, которая менее загрязнена, чем заболонная [7].

В первые годы после аварии на Чернобыльской атомной электростанции основной вклад в удельную активность коры по содержанию ^{137}Cs давало поверхностное загрязнение. Высокая загрязненность коры объясняется присутствием остатков первоначального аэрального выпадения [8]. После лесной подстилки кора была одним из наиболее загрязненных элементов лесного биогеоценоза, а среди надземной части деревьев — наиболее грязной. В последующие годы происходило снижение содержания удельной активности ^{137}Cs в коре в связи с удалением поверхностного загрязнения с атмосферными осадками и ветром. В 1987 г. наибольшая загрязненность коры наблюдалась в 30-километровой зоне в сосновых 12-летних насаждениях с плотностью загрязнения по ^{137}Cs 140 Ки/км² (5180 кБк/м²). На других объектах с меньшей плотностью загрязнения почв

снижение удельной активности ^{137}Cs в коре было менее значительно, почти в 3–6 раз. Уменьшение загрязнения коры будет происходить, очевидно, до тех пор, пока накопление радионуклидов в коре за счет корневого поступления не станет преобладать над поверхностным очищением. Во все годы наблюдения отмечалось закономерное повышение удельной активности ^{137}Cs в коре при увеличении плотности загрязнения почв [9].

В 1993 г. у 50-летних сосен и 40-летних дубов, произрастающих на почвах с плотностью загрязнения ^{137}Cs соответственно 70 Ки/км² и 100 Ки/км², по каждому годичному слою отдельно измерялось содержание ^{137}Cs в древесине. Наибольшая концентрация ^{137}Cs отмечена в наружных годичных слоях, достигая максимума в последний год роста. По направлению к сердцевине ствола концентрация сначала резко, на 20 %, падает, а затем снижается постепенно. Однако даже в центральных годичных слоях она выше, чем в незагрязненных насаждениях. В древесных насаждениях с плотностью загрязнения до 1 Ки/км² концентрация ^{137}Cs может достигать 200 Бк/кг, а для центральных слоев сосны и дуба при указанных выше плотностях загрязнения почвы — около 2500 Бк/кг. Это говорит о том, что поглощенные радионуклиды не только откладываются во вновь нарастающих слоях, но и поступают в ту часть ствола, которая образовалась до попадания радионуклидов под полог леса [10, 11].

По данным исследований, начальный период поступления радионуклидов в луб и древесину обусловлен их переносом в проводящей системе из загрязненных частей кроны, хвои, коры и ветвей. Так относительная загрязненность древесных тканей (загрязненность древесины принята за 1) ^{137}Cs первоначально оценивалась в лубе сосны, ели, осины, дуба, липы, березы как 18, 11, 7, 5, 3, 4, а в коре — 95, 32, 60, 32, 55, 30 соответственно. Поэтому удельная активность ^{137}Cs в лубе и древесине в первые годы была незначительна [12, 13].

Цель работы

Цель работы заключалась в оценке современного радиоэкологического состояния лесного ареала на примере лесных хозяйств Республики Беларусь.

Материалы и методы

Для получения данных о плотности загрязнения радионуклидом ^{137}Cs использовали дозиметр ДКГ-АТ2140 ООО «РЕНТГЕНСЕРВИС» (Россия) по ГОСТ 27451–87 с диапазоном индикации мощности дозы гамма-излучения 0,01–10 м³/ч в сочетании с отбором проб и последующим лабораторным анализом на УСК «ГАММА ПЛЮС» ЗАО «НТЦ ЭКСПЕРТЦЕНТР» (Россия) по стандартным методикам [14].

Результаты и обсуждение

Радиоактивное загрязнение лесных экосистем создало условия, при которых в течение многих лет невозможно обычное ведение лесного хозяйства и многоцелевое использование леса. Это обусловлено тем, что на отдельных участках лесного фонда количество выпавших радиоактивных веществ не вызывает прямого поражения растений и животных, но превышает допустимые нормы их содержания в продукции лесного хозяйства и безопасные дозы облучения людей.

Типичным концентратом-индикатором состояния мшистого (МШ) леса можно считать грибы [15]. Анализ накопления радионуклидов в грибах показывает, что грибная масса активно концентрирует радионуклиды и в силу этого может представлять собой объект повышенной опасности. Измеренный в ходе исследований уровень загрязнения отдельных партий грибов даже сегодня превышал допустимый уровень содержания ^{137}Cs в свежих грибах, который составляет 370 Бк/кг (табл. 1, 2). Проведенный анализ показывает, что общее загрязнение грибов за прошедший после чернобыльской аварии период существенно снизился и продолжает уменьшаться.

Таблица 1

Анализ грибов, произрастающих на 98 квартале (контрольный пункт № 46) Рыковского лесничества республики Беларусь

Analysis of fungi growing in the 98th quarter (control point No. 46) of the Ryskov Forestry of the Republic of Belarus

Год	Гриб	Тип леса	Плотность загрязнения	Измерение, Бк/кг	Погрешность
2009	Сыроежка	МШ	1,02	1590	491
2013	Сыроежка	МШ	1,05	2544	509
2014	Сыроежка	МШ	1,04	1706	338
2018	Сыроежка	МШ	1,02	1206	234

Таблица 2

Анализ грибов, произрастающих на 99 квартале (выдел 4) Рыковского лесничества

Analysis of fungi growing in the 99th quarter (section 4) of the Ryskov Forestry

Год	Гриб	Тип леса	Плотность загрязнения	Измерение, Бк/кг	Погрешность
2010	Сыроежка	МШ	1,17	2098	433
2012	Сыроежка	МШ	1,17	600	148
2014	Сыроежка	МШ	1,17	703	156
2017	Сыроежка	МШ	1,02	420	95

Основной интерес с точки зрения хозяйственного использования лесного ареала, представляет деловая древесина, радиационное загрязнение которой сегодня существенно ниже, чем у отдельных представителей грибной популяции. В табл. 3 и 4 представлен сравнительный анализ различных пород древесины по содержанию в них радиоактивного ^{137}Cs .

Таблица 3

Радиационное обследование лесосеки (12 марта 2014 г.) Рыковского лесничества Radiation survey of the cutting area (March 12, 2014) of the Ryskov forestry

Наименование древесной породы	Древесина	Содержание ^{137}Cs , Бк/кг			Содержание по сравнению с допустимым уровнем (ДУ)
		Допустимое	Фактическое		
			измеренное	погрешность	
Береза	Деловая	1480	98	26	Не превышает
Береза	Дрова	740	86	24	Не превышает
Ель	Деловая	1480	134	31	Не превышает
Ель	Дрова	740	120	31	Не превышает
Сосна	Деловая	1480	122	29	Не превышает
Сосна	Дрова	740	103	27	Не превышает

Таблица 4

Радиационное обследование лесосеки (6 июля 2016 г.) Рыковского лесничества Radiation survey of the felling area (July 6, 2016) of the Ryskov forestry

Наименование древесной породы	Древесина	Содержание ^{137}Cs , Бк/кг			Содержание по сравнению с ДУ
		Допустимое	Фактическое		
			измеренное	погрешность	
Береза	Деловая	1480	94	25	Не превышает
Береза	Дрова	740	83	23	Не превышает
Ель	Деловая	1480	121	33	Не превышает
Ель	Дрова	740	114	32	Не превышает
Сосна	Деловая	1480	62	24	Не превышает
Сосна	Дрова	740	58	21	Не превышает

Величины концентраций радионуклидов, измеренные сегодня в древесине разных пород, могут различаться в 2 раза и более, однако предельный уровень загрязнения практически не превышает установленных ПДК [16–19]. Характер динамики временных изменений содержания радионуклидов позволяет сделать приблизительный прогноз «полной» очистки территории от радиоактивного загрязнения (табл. 5–8).

Т а б л и ц а 5

**Распределение территории лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения
Рогачевского лесхоза (по состоянию на 25 июня 2015 г.)**

**Distribution of forest fund territory by radioactive contamination zones Rogachevsky Leskhoz
(as of June 25, 2015)**

Наименование лесничества	Общая плот- ность, га	Всего обследо- вано, га	Всего загряз- нено, га (%)	Площадь загрязнения почвы ¹³⁷ Cs по зонам и подзонам, га (%)					
				1 зона, 1–5 Ки/км ²			2 зона, 5–15 Ки/км ²	3 зона, 15–40 Ки/км ²	4 зона, 40 Ки/км ² и более
				всего	подзона 1А, 1–2 Ки/км ²	подзона 1Б, 2–5 Ки/км ²			
Друтское	12115	12115	385 (3,18)	385 (3,18)	385 (3,18)	0*	0	0	0
Кошарское	7172	7172	42 (0,59)	42 (0,59)	42 (0,59)	0	0	0	0
Озеранское	10749	10749	65 (0,60)	65 (0,60)	65 (0,60)	0	0	0	0
Рогачевское	11136	11104	10881 (97,71)	10698 (96,07)	6885 (61,83)	3813 (34,24)	183 (1,64)	0	0
Рысковское	10515	10515	10515 (100)	6158 (58,57)	146 (1,39)	6012 (57,18)	4357 (41,44)	0	0
Сверженское	12541	12541	12541 (100)	11378 (90,73)	471 (3,76)	10907 (86,97)	1163 (9,27)	0	0
Старосельское	13522	13522	8002 (59,18)	8002 (59,18)	7615 (56,32)	387 (2,86)	0	0	0
ИТОГО	77750	77718	42431 (54,57)	36728 (47,24)	15609 (20,08)	21119 (27,16)	5703 (7,34)	0	0

Примечание. * — на уровне фона.

Т а б л и ц а 6

**Распределение территории лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения
Рогачевского лесхоза (по состоянию на 25 июня 2021 г. — прогноз)**

**Distribution of forest fund territory by radioactive contamination zones Rogachevsky Leskhoz
(as of June 25, 2021 — forecast)**

Наименование лесничества	Общая плот- ность, га	Всего обследо- вано, га	Всего загряз- нено, га (%)	Площадь загрязнения почвы ¹³⁷ Cs по зонам и подзонам, га (%)					
				1 зона, 1–5 Ки/км ²			2 зона, 5–15 Ки/км ²	3 зона, 15–40 Ки/км ²	4 зона, 40 Ки/км ² и более
				всего	подзона 1А, 1–2 Ки/км ²	подзона 1Б, 2–5 Ки/км ²			
Друтское	12115	12115	56 (0,46)	56 (0,46)	56 (0,46)	0	0	0	0
Кошарское	7172	7172	0	0	0	0	0	0	0
Озеранское	10749	10749	0	0	0	0	0	0	0
Рогачевское	11136	11104	8158 (73,26)	8158 (73,26)	5952 (53,45)	2206 (19,81)	0	0	0
Рысковское	10515	10515	10482 (99,69)	9704 (92,29)	1272 (12,10)	8432 (80,19)	778 (7,40)	0	0
Сверженское	12541	12541	12541 (90)	12130 (96,72)	1751 (13,96)	10379 (82,76)	411 (3,28)	0	0
Старосельское	13522	13522	4635 (34,28)	4635 (34,28)	4582 (33,89)	53 (0,39)	0	0	0
ИТОГО	77750	77718	35872 (46,14)	34683 (44,61)	13613 (17,51)	21070 (27,10)	1189 (1,53)	0	0

Т а б л и ц а 7

**Распределение территории лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения
Рогачевского лесхоза (по состоянию на 25 июня 2031 г. — прогноз)**

**Distribution of forest fund territory by radioactive contamination zones Rogachevsky Leskhoz
(as of June 25, 2031 — forecast)**

Наименование лесничества	Общая плотность, га	Всего обследовано, га	Всего загрязнено, га (%)	Площадь загрязнения почвы ¹³⁷ Cs по зонам и подзонам, га (%)					
				1 зона, 1–5 Ки/км ²			2 зона, 5–15 Ки/км ²	3 зона, 15–40 Ки/км ²	4 зона, 40 Ки/км ² и более
				всего	подзона 1А, 1–2 Ки/км ²	подзона 1Б, 2–5 Ки/км ²			
Друтское	12115	12115	0	0	0	0	0	0	0
Кошарское	7172	7172	0	0	0	0	0	0	0
Озеранское	10749	10749	0	0	0	0	0	0	0
Рогачевское	11136	11136	5272 (46,44)	5272 (46,44)	4337 (38,95)	835 (7,50)	0	0	0
Рысковское	10515	10515	10369 (98,61)	10369 (98,61)	3350 (31,86)	7019 (66,75)	0	0	0
Сверженское	12541	12541	12510 (99,75)	12510 (99,75)	4044 (32,25)	8466 (67,51)	0	0	0
Старосельское	13522	13522	1718 (12,71)	1718 (12,71)	1718 (12,71)	0	0	0	0
ИТОГО	77750	77718	29769 (38,29)	29769 (38,29)	13449 (17,30)	16320 (20,99)	0	0	0

Т а б л и ц а 8

**Распределение территории лесного фонда по зонам радиоактивного загрязнения
Рогачевского лесхоза (по состоянию на 25 июня 2111 г. — прогноз)**

**Distribution of forest fund territory by radioactive contamination zones Rogachevsky leskhoz
(as of June 25, 2111 — forecast)**

Наименование лесничества	Общая плотность, га	Всего обследовано, га	Всего загрязнено, га	Площадь загрязнения почвы ¹³⁷ Cs по зонам и подзонам, га					
				1 зона, 1–5 Ки/км ²			2 зона, 5–15 Ки/км ²	3 зона, 15–40 Ки/км ²	4 зона, 40 Ки/км ² и более
				всего	подзона 1А, 1–2 Ки/км ²	подзона 1Б, 2–5 Ки/км ²			
Друтское	12115	12115	0	0	0	0	0	0	0
Кошарское	7172	7172	0	0	0	0	0	0	0
Озеранское	10749	10749	0	0	0	0	0	0	0
Рогачевское	11136	11136	0	0	0	0	0	0	0
Рысковское	10515	10515	0	0	0	0	0	0	0
Сверженское	12541	12541	0	0	0	0	0	0	0
Старосельское	13522	13522	0	0	0	0	0	0	0
ИТОГО	77750	77718	0	0	0	0	0	0	0

Кинетика миграции радионуклидов с учетом их реального уровня содержания за прошедшие три десятилетия после Чернобыля показывает, что полное освобождение территории от радионуклидов может произойти за достаточно длительный период.

Выводы

Таким образом, проведенные исследования показывают, что загрязнения по имеющимся четырем зонам с плотностью содержания радиону-

клидов 1–40 Ки/км² представляют собой достаточно устойчивые образования и их почвенное содержание может достичь практически нулевых значений только к 2111 г. Однако уже сегодня большинство пород деревьев, произрастающих в обследованных зонах ведения лесного хозяйства, может быть отнесено к категории условно чистой продукции, уровень радиоактивного загрязнения которой не превышает установленные нормы безопасности.

Список литературы

- [1] Tikhomirov F.A., Shcheglov A.I. Main investigation results on the forest radioecology in the Kyshtym and Chernobyl accident zones // *Science of The Total Environment*, 1994, v. 157, no 11, pp. 45–57.
- [2] Новиков В.С., Мастрюков А.А., Челнакова Н.Г. Герои и призраки Чернобыля. СПб.: Профессional, 2014. 404 с.
- [3] Тихонов М.Н. Уроки Чернобыля: анализ и оценка последствий // *Вестник Российской академии естественных наук*, 2014. № 3. С. 8–16.
- [4] Ильинских Н.Н., Булатов В.И., Адам А.М., Смирнов Б.В., Плотнокова Н.Н., Иванчук И.И. Радиационная экогенетика России. Томск: Крокус, 1998. 253 с.
- [5] Steinhäuser G., Brandl A., Johnson T.E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts // *Science of The Total Environment*, 2014, v. 470–471, no 2, pp. 800–817.
- [6] Глазко В.И., Глазко Т.Т. Эффект Чернобыля – популяционно-генетические последствия // *Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук*, 2005. № 5. С. 39–43.
- [7] Beresford N.A., Fesenko S., Konoplev A., Skuterud L., Smith J.T., Voigt G. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2016, v. 157, no. 6, pp. 77–89.
- [8] Квасникова Е.В., Жукова О.М., Гордеев С.К., Константинов С.В., Киров С.С., Лысак А.В., Манзон Д.А. Цезий-137 в почвах ландшафтов через 20 лет после аварии на Чернобыльской АЭС // *Известия РАН. (Сер. Географическая)*, 2009. № 5. С. 66–83.
- [9] Evangelidou N., Balkanski Y., Cozic A., Hao W.M., Möller A.P. Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen // *Environment International*, 2014, v. 73, no. 12, pp. 346–358.
- [10] Thiry Y., Albrecht A., Tanaka T. Development and assessment of a simple ecological model for forests contaminated by radiocesium fallout // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 190–191, no 10, pp. 149–159.
- [11] Diener A., Hartmann P., Urso L., Battle J. V., Steiner M. Approaches to modelling radioactive contaminations in forests. Overview and guidance // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, v. 178–179, no 11, pp. 203–211.
- [12] Ипатьев В.А. Лес и Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС, 1986–1994. Минск: МНПП «Стенер», 1994. 252 с.
- [13] Тихомиров Ф.А., Щеглов А.И. Радиоэкологические последствия Кыштымской и Чернобыльской радиационной аварий в лесных экосистемах // *Экология регионов атомных станций (ЭРАС 1)* / под общ. ред. Ю.А. Егорова. М.: Курчатовский институт, 1993. № 1. С. 71.
- [14] Копунова Г.А., Беляков В.А., Иванкин А.Н. Аветилов Г.М. Радиационная безопасность промышленной продукции. М.: МГУЛ, 2013. 36 с.
- [15] Tucaković I., Barišić D., Grahek Ž., Kasap A., Širić I. ¹³⁷Cs in mushrooms from Croatia sampled 15–30 years after Chernobyl // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 181, no 1, pp. 147–151.
- [16] Gulac O.V. Analysis of the causes of forest fires near the Chernobyl // *Міжнародний науковий журнал Інтернаука*, 2016, no 6–3, pp. 149–152.
- [17] Иванников В.А., Подосенова Е.А., Тюков А.А. Тяжкое наследие // *Экология и жизнь*, 2006. № 4. С. 3–8.
- [18] Jobbágya V., Altitzogloua T., Maloa, Tannerb V., Hult M. A brief overview on radon measurements in drinking water // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, v. 173, pp. 18–24.
- [19] Vogeltanz-Holma N., Schwartzb G.G. Radon and lung cancer: What does the public really know? // *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 192, pp. 26–31.

Сведения об авторах

Агеев Антон Константинович — магистрант кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), ageev@mgul.ac.ru

Иванкин Андрей Николаевич — д-р хим. наук, профессор кафедры химии и химических технологий лесного комплекса МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), aivankin@mgul.ac.ru

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

Санаев Виктор Георгиевич — д-р техн. наук, профессор кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-drev@mgul.ac.ru

Беляков Владимир Алексеевич — канд. техн. наук, доцент кафедры информационно-измерительных систем и технологии приборостроения МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-sertif@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 01.10.2018.

Принята к публикации 19.11.2018.

RADIOECOLOGY OF AFFECTED FOREST AREAS IN THE BELARUS REPUBLIC THROUGH THIRTY YEARS AFTER CHERNOBYL DISASTER

A.K. Ageev, A.N. Ivankin, G.A. Gorbacheva, V.G. Sanaev, V.A. Belyakov

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

aivankin@mgul.ac.ru

Radioactive contamination of forest ecosystems has created the conditions under which conventional forest management and multi-purpose forest use are impossible for many years. The 33 paper gives a modern assessment of the state of the forest area exposed to the effect of radionuclides after the Chernobyl accident, using the example of some forestries in the Republic of Belarus. It is shown that in some parts of the forest area even after three decades, the amount of radioactive substances cannot cause direct damage to plants and animals but in accordance with the general level of radioactive contamination exceeds the permissible standards of forest products and safe radiation doses of people. An assessment of the ecological state of the forest area has been made and the distribution of the radiation contamination of some sections of the forest zone in the Republic of Belarus has been studied according to the levels of ^{137}Cs radionuclide content. The data are presented in 2010–2017 of the radionuclide content in fungal biomass, as well as in birch, spruce and pine wood. It is shown that the average level of radionuclide content in fungi decreased monotonically from 2500 to 420 Bq/kg over the last ten-year period, and in the wood the level of radiation pollution today is 50...120 Bq/kg in the most polluted forest areas, which does not exceed allowable levels of security. A forecast is given for improving the ecological state of the forest from the point of view of the complete disinfection of the studied territories and is shown on the basis of the calculated values of the change in the background radiation that, on the territory of seven forest areas assigned to the first, second, third and fourth zones with soil contamination densities of ^{137}Cs 1...40 Ki/km², the actual area of pollution from 2015 monotonously decreases from the initial values of 3...99 % to about half by 2031 and complete disinfection can occur by 2111.

Keywords: radioecology of the forest area, distribution of radio nuclides, levels of radiation pollution, reduction forecast

Suggested citation: Ageev A.K., Ivankin A.N., Gorbacheva G.A., Sanaev V.G., Belyakov V.A. *Radioekologiya zarazhennykh lesnykh arealov Respubliki Belarus' cherez tridcat' let posle Chernobylya* [Radioecology of affected forest areas in the Belarus Republic through thirty years after Chernobyl disaster]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 14–21. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-14-21

References

- [1] Tikhomirov F.A., Shcheglov A.I. Main investigation results on the forest radioecology in the Kyshtym and Chernobyl accident zones. *Science of The Total Environment*, 1994, v. 157, no. 11, pp. 45–57.
- [2] Novikov V.S., Mastyukov A.A., Chelnakova N.G. *Geroi i prizraki Chernobylya*. [Heroes and ghosts of Chernobyl]. St. Petersburg: Professional, 2014, 404 p.
- [3] Tikhonov M.N. *Uroki chernobylya: analiz i ocenka posledstviy* [Lessons of Chernobyl: analysis and assessment of consequences]. *Vestnik Rossiyskoy akademii estestvennykh nauk* [Bulletin of the Russian Academy of Natural Sciences], 2014, no. 3, pp. 8–16.
- [4] Il'inskikh N.N., Bulatov V.I., Adam A.M., Smirnov B.V., Plotnikova N.N., Ivanchuk I.I. *Radiacionnaya ehkogenetika Rossii* [Radiation ecogenetics of Russia]. Tomsk: Crocus, 1998, 253 p.
- [5] Steinhäuser G., Brandl A., Johnson T.E. Comparison of the Chernobyl and Fukushima nuclear accidents: A review of the environmental impacts. *Science of The Total Environment*, 2014, v. 470–471, no 2, pp. 800–817.
- [6] Glazko V.I., Glazko T.T. *Effekt Chernobylya — populyacionno-geneticheskie posledstviya* [The effect of Chernobyl — population-genetic consequences]. Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences, 2005, no 5, pp. 39–43.
- [7] Beresford N.A., Fesenko S., Konoplev A., Skuterud L., Smith J.T., Voigt G. Thirty years after the Chernobyl accident: What lessons have we learnt. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2016, v. 157, no 6, pp. 77–89.
- [8] Kvasnikova E.V., Zhukova O.M., Gordeev S.K., Konstantinov S.V., Kirov S.S., Lysak A.V., Manzon D.A. *Cезий-137 v pochvah landshaftov cherez 20 let posle avarii na Chernobyl'skoy AEHS* [Cesium-137 in soil landscapes 20 years after the Chernobyl nuclear power plant accident]. Proceedings of the Russian Academy of Sciences. Ser. Geographical, 2009, no 5, pp. 66–83.
- [9] Evangelidou N., Balkanski Y., Cozic A., Hao W.M., Möller A.P. Wildfires in Chernobyl-contaminated forests and risks to the population and the environment: A new nuclear disaster about to happen. *Environment International*, 2014, v. 73, no 12, pp. 346–358.
- [10] Thiry Y., Albrecht A., Tanaka T. Development and assessment of a simple ecological model for forests contaminated by radionuclide fallout. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 190–191, no 10, pp. 149–159.
- [11] Diener A., Hartmann P., Urso L., Battle J.V., Steiner M. Approaches to modelling radioactive contaminations in forests. Overview and guidance. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, v. 178–179, no 11, pp. 203–211.
- [12] Ipatiev V.A. *Les i Chernobyl'. Lesnye ehkosistemy posle avarii na Chernobyl'skoy AEHS, 1986–1994* [Forest and Chernobyl. Forest ecosystems after the accident at the Chernobyl nuclear power plant, 1986–1994]. Minsk: MNPP Stener, 1994, 252 p.
- [13] Tikhomirov F.A., Shcheglov A.I. *Radioekologicheskie posledstviya Kyshtym'skoy i Chernobyl'skoy radiatsionnoy avariy v lesnykh ekosistemakh* [Radioecological Consequences of the Kyshtym and Chernobyl Radiation Accidents in Forest Ecosystems. In the collection. ecology of regions of nuclear power plants (ERAS 1)] Ed. Yu.A. Egorova. Moscow: Kurchatovskiy institut, 1993, no 1, p. 71.

- [14] Kopunova G.A., Belyakov V.A., Ivankin A.N. Avetisov G.M. *Radiacionnaya bezopasnost' promyshlennoy produkcii* [Radiation safety of industrial products]. Moscow: MSFU, 2013, 36 p.
- [15] Tucaković I., Barišić D., Grahek Ž., Kasap A., Širić I. 137Cs in mushrooms from Croatia sampled 15–30 years after Chernobyl. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 181, no. 1, pp. 147–151.
- [16] Gulac O.V. Analysis of the causes of forest fires near the Chernobyl. *International scientific journal Internauca*, 2016, no 6–3, pp. 149–152.
- [17] Ivannikov V.A., Podosenova E.A., Tyukov A.A. *Tyazhkoie nasledie* [Heavy heritage]. *Ekologiya i zhizn'* [Ecology and life], 2006, no. 4, pp. 3–8.
- [18] Jobbágya V., Altitzogloua T., Maloa, Tannerb V., Hult M. A brief overview on radon measurements in drinking water. *Journal of Environmental Radioactivity*, 2017, v. 173, pp. 18–24.
- [19] Vogeltanz-Holma N., Schwartzb G.G. Radon and lung cancer: What does the public really know? *Journal of Environmental Radioactivity*, 2018, v. 192, pp. 26–31.

Authors' information

Ageev Anton Konstantinovich — Master of the Department of Wood Science and Technology of Wood Processing BMSTU (Mytishchi branch), ageev@mgul.ac.ru

Ivankin Andrey Nikolayevich — Dr. Sci. (Chem.), Professor of the Department of Chemistry BMSTU (Mytishchi branch), aivankin@mgul.ac.ru

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

Sanaev Viktor Georgievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Wood Science and Technology of Wood Processing BMSTU (Mytishchi branch), caf-drev@mgul.ac.ru

Belyakov Vladimir Alekseevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Information-Measuring Systems and Instrument-Making Technology BMSTU (Mytishchi branch), caf-sertif@mgul.ac.ru

Received 01.10.2018.

Accepted for publication 19.11.2018.

ВЛИЯНИЕ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ИСКУССТВЕННЫХ СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЙ

Е.С. Залесова¹, Е.М. Ананьев¹, А.Е. Осипенко¹, Д.А. Шубин¹, Г.Г. Терехов²

¹ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37

²ФГБУН Ботанический сад УрО РАН, 620144, г. Екатеринбург, ул. 8 марта, д. 202 А

kaly88@mail.ru

Искусственный способ лесовосстановления является одним из наиболее эффективных. Важно иметь объективные данные об исходной густоте посадки лесных культур. Увеличение густоты посадки сокращает количество агротехнических уходов и обеспечивает ускоренный перевод лесных культур в покрытую лесной растительностью площадь. Однако при этом возникает необходимость в проведении более ранних рубок ухода. Исследования, выполненные в Южно-Уральском лесостепном районе, показали, что искусственные 33-летние насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), созданные 2-летними сеянцами с густотой посадки от 2,0 до 8,0 тыс. шт./га, характеризуются хорошим санитарным состоянием. Текущий отпад по густоте не превышает 5 %. При этом в отпад переходят наиболее тонкие, необратимо угнетенные экземпляры. Значения комплексных оценочных показателей (КОП) по вариантам опыта варьируются от 6,59 до 11,21 см/см², что свидетельствует о высокой устойчивости исследуемых древостоев. В целях повышения пожароустойчивости исследуемых сосняков рекомендуется проведение рубок ухода.

Ключевые слова: искусственные насаждения, лесные культуры, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), приживаемость, сохранность, санитарное состояние, коэффициент напряженности роста

Ссылка для цитирования: Залесова Е.С., Ананьев Е.М., Осипенко А.Е., Шубин Д.А., Терехов Г.Г. Влияние густоты посадки на устойчивость искусственных сосновых насаждений // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 22–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-22-27

Одним из способов эффективного лесовосстановления и лесоразведения является искусственный. Если в лесах таежной зоны, где потенциальные возможности естественного лесовосстановления достаточно велики, можно использовать искусственное лесовосстановление в ограниченных объемах, то в лесостепной и степной зонах искусственное лесовосстановление является доминирующим [1–3]. Преимущества искусственного лесовосстановления заключаются в более высокой производительности искусственных насаждений по сравнению с естественными при произрастании в близких лесорастительных условиях [4, 5], возможности формирования высокопродуктивных устойчивых насаждений на рекультивированных землях [6, 7], а также на землях, загрязненных промышленными поллютантами [8] и радионуклидами [9, 10]. Не случайно учеными и практиками уделяется повышенное внимание созданию искусственных насаждений, особенно в аридных условиях [11, 12].

В то же время, несмотря на опыт многих десятилетий, имеются вопросы по созданию и выращиванию искусственных насаждений, которые остаются нерешенными. Так, в частности, нет единого мнения об исходной густоте создаваемых лесных культур. Если ранее при создании искусственных насаждений в аридных условиях предпочтение отдавалось созданию загущенных лесных культур [13], то в настоящее время реко-

мендуется снижение густоты до 2,0 тыс. шт./га при использовании, в том числе сеянцев с закрытой корневой системой [14].

Преимуществом создания редких лесных культур является сокращение количества посадочного материала и быстрое выполнение работ по посадке лесных культур. В то же время редкие лесные культуры нуждаются в длительном проведении агротехнических уходов, исключают быстрый перевод участков в покрытую лесной растительностью площадь, требуют дополнений в большей степени, чем густые лесные культуры, страдают от биотических факторов и нередко из-за низкой густоты формируют низкоплотные насаждения и редины. Попытка найти оптимальную густоту посадки предопределила направление наших исследований.

Цель работы

Целью работы являлось установление оптимальной густоты посадки лесных культур сосны обыкновенной в условиях Южно-Уральского лесостепного района.

Материалы и методы

Объектом исследований служили 33-летние искусственные сосняки, созданные 31 год назад посадкой 2-летних сеянцев в дно плужных борозд, проложенных плугом ПКЛ-70. Расстояние между бороздами 2,5 м. Лесные культуры были

Т а б л и ц а 1

**Таксационные показатели опытных лесных культур
разной густоты спустя 6 лет после посадки**

Taxation figures of experimental forest crops of different density 6 years after planting

Густота посадки, тыс. шт./га	Шаг посадки, см	Средняя высота, м	Средний прирост по высоте за 6-й год, см	Средняя протяженность кроны вдоль ряда, см	Средняя протяженность кроны поперек ряда, см	Сохранность лесных культур, %
2,0	200	101	23,6	40,0	38,3	75,4
3,0	130	126	30,5	46,9	45,7	76,2
4,0	100	110	22,5	43,4	43,8	86,3
5,0	90	116	28,1	45,4	47,0	89,1
6,0	80	124	28,3	43,3	49,4	90,9
7,0	65	115	29,2	41,2	51,4	91,3
8,0	50	130	32,9	40,9	51,2	91,1

созданы на не раскорчеванной вырубке, образовавшейся после проведения сплошнолесосечной рубки в производном березняке. Площадь вырубки 7,0 га. Она представляла собой прямоугольник, вытянутый длинной стороной с севера на юг, размером 700 × 100 м. Посадка лесных культур производилась вручную под меч Колесова. Почва на участке была описана как фрагментарная темно-серая.

В процессе создания лесных культур был заложен научный эксперимент, включающий 7 вариантов опыта. За счет различного шага посадки густота создаваемых лесных культур варьировалась от 2,0 до 8,0 тыс. шт./га. Другими словами, были созданы участки лесных культур сосны обыкновенной с густотой посадки: 2,0; 3,0; 4,0; 5,0; 6,0; 7,0 и 8,0 тыс. шт./га.

После посадки в лесных культурах по мере необходимости проводились агротехнические уходы.

При анализе эффективности создания лесных культур разной густоты проводились исследования в соответствии с общепринятыми в лесной таксации и лесоводстве методиками [15]. Дополнительно у всех деревьев определялась категория санитарного состояния [16], а у древостоев по всем вариантам опыта устанавливалось значение комплексного оценочного показателя согласно апробированным методикам [17–19].

Результаты и обсуждение

Выполненные исследования показали, что густота посадки оказывает существенное влияние на период смыкания крон лесных культур. Так при густоте посадки 8,0 тыс. шт./га лесные культуры сомкнулись уже через 3 года. При густоте посадки 7 тыс. шт./га смыкание крон зафиксировано через 4 года после посадки, при густоте 6 тыс. шт./га — через 5 лет, а при густоте 5 тыс. шт./га — через 6 лет после посадки.

Спустя 6 лет после посадки опытные лесные культуры характеризовались следующими таксационными показателями (табл. 1).

Материалы табл. 1 свидетельствуют, что максимальной сохранностью характеризуются лесные культуры с густотой посадки 7,0 тыс. шт./га. При этом если в варианте с густотой посадки 2,0 тыс. шт./га через 6 лет сохранилось 1,5 тыс. шт./га высаженных семян (сохранность 75,4%), то в варианте с густотой посадки 8,0 тыс. шт./га — 7,3 тыс. шт./га (сохранность 91,1 %).

Ошибки указанных в табл. 1 средних значений по высоте колеблются в пределах 3,1–2,1 см, по приросту в высоту за 6-й после посадки год — 0,8–0,2 см, по протяженности кроны вдоль ряда — 1,6–1,1 см, по протяженности кроны поперек ряда — 3,2–1,8 см. Различия средних значений по вариантам опыта достоверны с вероятностью 0,65.

Обследования, выполненные спустя 23 года после посадки лесных культур, показали, что максимальной сохранностью характеризуются варианты с густотой посадки 5,0 и 6,0 тыс. шт./га (табл. 2).

С.И. Исаков с соавторами, исследуя искусственные сосновые насаждения ленточных боров Прииртышья, использовали следующие оптимальные значения КОП: в древостоях

Т а б л и ц а 2

**Таксационные показатели опытных культур
сосны обыкновенной через 23 года после
посадки по вариантам опыта**

Taxation indicators of experimental cultures of Scots pine
23 years after planting according to experiment options

Густота посадки, тыс. шт./га	Средние значения		Сохранность, %	КОП, см/см ²
	Высота, м	Диаметр, см		
2,0	11,0	10,0	74	14,1
3,0	11,5	11,2	72	11,7
4,0	10,0	11,0	74	10,5
5,0	9,5	12,7	83	7,5
6,0	10,0	12,6	81	8,1
7,0	10,4	12,0	76	9,2
8,0	10,8	11,8	73	9,9

до 20 лет — 15–25 см/см²; 20–30 лет — 10–18 см/см²; 40–70 лет — 5–8 см/см² и старше 100 лет — 2–3 см/см² [20]. Указанные значения свидетельствуют, что с увеличением возраста значения оптимальных показателей КОП уменьшается. Если учесть, что по вариантам опыта минимальными значениями КОП характеризуются искусственные насаждения с густотой посадки 5,0 и 6,0 тыс. шт./га, то можно сделать вывод, что именно эти насаждения являются наиболее устойчивыми в 25-летнем биологическом возрасте.

С увеличением возраста искусственных насаждений их таксационные показатели меняются (табл. 3).

Материалы табл. 3 свидетельствуют, что насаждения всех вариантов опыта характеризуются близкими к оптимальным значениям КОП. При этом лучшей сохранностью характеризуется вариант с густотой посадки 5,0 тыс. шт./га. О хорошем санитарном состоянии искусственных сосновых насаждений спустя 31 год после посадки свидетельствует также распределение деревьев по категориям санитарного состояния (табл. 4).

Т а б л и ц а 3

Таксационные показатели опытных лесных культур сосны обыкновенной через 31 год после посадки по вариантам опыта
Taxation indicators of test Scots pine trees in 31 years after planting according to experiment options

Густота посадки, тыс. шт./га	Средние значения		Сохранность, %	КОП, см/см ²
	Высота, м	Диаметр, см		
2,0	12,0	13,0	71	9,0
3,0	12,5	14,9	71	7,2
4,0	11,0	14,6	61	6,6
5,0	11,2	13,5	80	7,8
6,0	13,4	13,4	78	9,5
7,0	13,4	12,7	70	10,6
8,0	13,8	12,5	71	11,2

Т а б л и ц а 4

Распределение деревьев в 31-летних опытных лесных культурах по категориям санитарного состояния
Distribution of trees in 31-year old forest plantations by categories of sanitary condition

Густота посадки, тыс. шт./га	Категория санитарного состояния, %					
	I	II	III	IV	V	VI
2,0	81	11	4	0	1	3
3,0	87	7	1	0	1	4
4,0	83	8	3	1	1	4
5,0	83	9	2	1	3	2
6,0	78	7	7	0	3	5
7,0	71	14	5	2	2	6
8,0	72	10	6	3	2	7

Общеизвестно, что деревья IV и V категории санитарного состояния составляют текущий отпад. Материалы табл. 4 свидетельствуют, что текущий отпад по густоте не превышает 5 %. При этом в отпад переходят наиболее тонкие угнетенные деревья, т. е. наблюдается обычное естественное изреживание. Наличие старого сухостоя в количестве 2–7 % по густоте объясняется отсутствием в опытных культурах рубок ухода. В то же время следует отметить, что отпад более интенсивно протекает в лесных культурах с густотой посадки более 5,0 тыс. шт./га.

Выводы

1. Искусственные сосновые насаждения в Южно-Уральском лесостепном районе характеризуются высокими показателями производительности и устойчивости.

2. Создание лесных культур сосны обыкновенной, после проведения сплошнолесосечных рубок в производных березняках, позволяет обеспечить переформирование последних в коренные хвойные насаждения.

3. Увеличение густоты посадки позволяет сократить количество агротехнических уходов и обеспечивает ускорение перевода участков в покрывную лесной растительностью площадь.

4. Наличие отпада вызывает необходимость проведения рубок ухода, направленных на регулирование густоты.

5. Учитывая высокие показатели производительности и устойчивости опытных лесных культур, следует рекомендовать продолжение исследований на опытном объекте.

Список литературы

- [1] Фрейберг И.А., Залесов С.В., Толкач О.В. Опыт создания искусственных насаждений в лесостепи Зауралья. Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. 178 с.
- [2] Искусственное лесоразведение вокруг г. Астаны / С.В. Залесов, Б.О. Азбаев, А.В. Данчева, А.Н. Рахимжанов, М.Р. Ражанов, Ж.О. Суюндиков // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 4. URL: <http://www.Science-education.ru/118-13438> (дата обращения 01.09.2017).
- [3] Надземная фитомасса искусственных березовых насаждений в санитарно-защитной зоне г. Астаны / С.В. Залесов, Л.А. Белов, Е.С. Залесова, А.С. Оплетев, Ж.О. Суюндиков // Аграрный вестник Урала, 2014. № 9 (127). С. 68–71.
- [4] Залесов С.В., Лобанов А.Н., Луганский Н.А. Рост и продуктивность сосняков искусственного и естественного происхождения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2002. 112 с.
- [5] Залесов С.В., Оплетев А.С., Залесова Е.С., Бунькова Н.П. Производительность искусственных насаждений в северолесостепном лесорастительном округе Свердловской области // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2015. № 11 (133). С. 63–70.
- [6] Формирование искусственных насаждений на золоотвале Рефтинской ГРЭС / С.В. Залесов, Е.С. Залесова, А.А. Зверев, А.С. Оплетев, А.А. Терин // Известия вузов. Лесной журнал, 2013. № 2. С. 66–73.

- [7] Залесов С.В., Оплетаев А.С., Терин А.А. Формирование искусственных насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на рекультивированном золоотвале // Аграрный вестник Урала, 2016. № 8 (150). С. 14–23.
- [8] Юсупов И.А., Луганский Н.А., Залесов С.В. Состояние искусственных сосновых молодняков в условиях агропромвыбросов. Екатеринбург: УГЛТА, 1999. 182 с.
- [9] Залесов С.В., Ужгин Ю.В. Рост искусственных сосновых насаждений в районе Восточно-Уральского радиоактивного следа // Аграрный вестник Урала, 2014. № 8 (126). С. 46–49.
- [10] Залесов С.В., Ужгин Ю.В., Залесова Е.С. Искусственное лесовосстановление на территориях, загрязненных радионуклидами // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 2. URL: <http://www.Science-education.ru/116-12329> (дата обращения 30.08.2018).
- [11] Залесов С.В., Толкач О.В., Фрейберг И.А., Черноусова Н.Ф. Опыт создания лесных культур на солончаках хорошей лесопригодности // Экология и промышленность России, 2017. Т. 21. № 9. С. 42–47.
- [12] Залесов С.В., Фрейберг И.А., Толкач О.В. Проблема повышения продуктивности насаждений лесостепного Зауралья // Сибирский лесной журнал, 2016. № 3. С. 84–89.
- [13] Рекомендации по лесовосстановлению и лесоразведению / В.Н. Данилик, Р.П. Исаева, Г.Г. Терехов, И.А. Фрейберг, С.В. Залесов, В.Н. Луганский, Н.А. Луганский. Екатеринбург: УГЛТА, 2001. 117 с.
- [14] Опыт выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой в Алтайском крае / Е.М. Ананьев, С.В. Залесов, Н.А. Луганский, Д.А. Шубин, А.Е. Осипенко // Аграрный вестник Урала, 2017. № 8 (162). С. 4–10.
- [15] Залесов С.В., Зотеева Е.А., Магасумова А.Г., Швалева Н.П. Основы фитомониторинга. Екатеринбург: УГЛТУ, 2007. 76 с.
- [16] Данчева А.В., Залесов С.В. Экологический мониторинг лесных насаждений рекреационного назначения. Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. 152 с.
- [17] Данчева А.В., Залесов С.В. Использование комплексного оценочного показателя при оценке состояния сосняков Государственного лесного природного резервата «Се-мей орманы» // Известия СПбЛТА, 2016. № 215. С. 41–54.
- [18] Данчева А.В., Залесов С.В. Использование комплексного оценочного показателя для оценки состояния рекреационных сосняков ГНПП «Бурабай» // Бюллетень науки и практики, 2016. № 3. С. 46–55.
- [19] Данчева А.В., Залесов С.В. Использование комплексного оценочного показателя в оценке состояния рекреационных сосняков Баянаульского ГНПП // Вестник Алтайского государственного аграрного университета, 2016. № 7 (141). С. 51–61.
- [20] Исаков С.И., Жорабекова Ж.Т., Елемесов М.М. Современное состояние искусственных сосновых насаждений в ленточных борах Прииртышья // Международная научно-практическая конференция «Развитие «зеленой экономики» и сохранение биологического разнообразия», Щучинск, Колледж экологии и лесного хозяйства, 8–9 октября 2013 г. Щучинск: [б.и.], 2013. С. 117–123.

Сведения об авторах

Залесова Евгения Сергеевна — канд. с.-х. наук, доцент ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», kaly88@mail.ru

Ананьев Егор Михайлович — аспирант ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», lesnoe_000@mail.ru

Осипенко Алексей Евгеньевич — аспирант ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», osipenko_alexey@mail.ru

Шубин Денис Андреевич — канд. с.-х. наук, исполнительный директор ООО «Бобровский лесокомбинат», bobrovka@altailes.com

Терехов Геннадий Григорьевич — д-р с.-х. наук, профессор ФГБУ науки «Ботанический сад» УрО РАН, common@botgard.uran.ru

Поступила в редакцию 03.10.2018.

Принята к публикации 19.11.2018.

PLANTING DENSITY EFFECT ON ARTIFICIAL PINE STANDS STABILITY

E.S. Zalesova¹, E.M. Ananiev¹, A.E. Osipenko¹, D.A. Shubin¹, G.G. Terekhov²

¹Ural State Forest Engineering University, 37, Sibirskiy Trakt st., 620100, Ekaterinburg, Russia

²Botanic garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 202A, 8 Marta st., 620144, Ekaterinburg, Russia

kaly88@mail.ru

Artificial reforestation is one of the most effective. However, creation and cultivation of lightly productive stable artificial plantings is connected with significant difficulties. Of special importance is to possess objective data as concerns their initial density of forest cultures planting. As for the problem there is no single opinion among scientists and practical workers. Planting density increases results in the number of agrotechnic careing (maintaining) and ensure speeding up turning of forest cultures into area covered by forest vegetation, however, in such case there arises necessity to carry out much earlier improvement cutting. The research carried out in the South-Ural forest steppe region has shown that artificial 33 aged common pine plantings (*Pinus sylvestris* L.) formed from 2-year old seedlings under planting density from 2.0 to 8.0 th. p/ha are characterized by good sanitary state. The current mortality as concerns depth does not exceed 5 %. The most thin and irreversible oppressed specimens undergone attrition. The values of complex indices for appraisal in accordance with testing variants are varied from 6.59 to 11/21 sm/sm² that testifies to high stability of forest stands investigated. To perfect fire stability of investigated forest stands it is recommended to carry out improvement cutting.

Keywords: artificial plantings, forest cultures, common pine (*Pinus sylvestris* L.), capacity for survival, conservation of forest plantings, sanitary state, coefficient of growth tension

Suggested citation: Zalesova E.S., Ananiev E.M., Osipenko A.E., Shubin D.A., Terekhov G.G. *Vliyaniye gustomy posadki na ustoychivost' iskusstvennykh sosnovykh nasazhdeniy* [Planting density effect on artificial pine stands stability]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 22–27. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-22-27

References

- [1] Freyberg I.A., Zalesov S.V., Tolkach O.V. *Opyt sozdaniya iskusstvennykh nasazhdeniy v lesostepi Zaural'ya* [Experience of creation of artificial plantations in the forest-steppe of Zauralye]. Ekaterinburg: USTU, 2012, 178 p.
- [2] Zalesov S.V., Azbaev B.O., Dancheva A.V., Rakhimzhanov A.N., Razhanov M.R., Suyundikov Zh.O. *Iskusstvennoe lesorazvedenie vokrug g. Astany* [Artificial afforestation around Astana]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 4. URL: www Science-education. EN / 118-13438 (accessed 01.03.2017).
- [3] Zalesov S.V., Belov L.A., Zalesova E.S., Opletaev A.S., Suyundikov Zh.O. *Nadzemnaya fitomassa iskusstvennykh berezovykh nasazhdeniy v sanitarno-zashchitnoy zone g. Astany* [Aboveground phytomass of artificial birch stands in the sanitary-protective zone of Astana]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2014, no. 9 (127), pp. 68–71.
- [4] Zalesov S.V., Lobanov A.N., Luganskiy N.A. *Rost i produktivnost' sosnyakov iskusstvennogo i estestvennogo proiskhozhdeniya* [Growth and productivity of pine stands of artificial and natural origin]. Ekaterinburg: USTU, 2002, 112 p.
- [5] Zalesov S.V., Opletaev A.S., Zalesova E.S., Bun'kova N.P. *Proizvoditel'nost' iskusstvennykh nasazhdeniy v severolesostepnom lesorastitel'nom okruge Sverdlovskoy oblasti* [Productivity of artificial plantations in severoistocen forest district of the Sverdlovsk region] // *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Altai state agrarian University], 2015, no. 11 (133), pp. 63–70.
- [6] Zalesov S.V., Zalesova E.S., Zverev A.A., Opletaev A.S., Terin A.A. *Formirovaniye iskusstvennykh nasazhdeniy na zolootvale Reftinskoy GRES* [The formation of artificial plantations in the ash Reftinskaya GRES]. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [Bulletin of higher educational institutions. Lesnoy Zhurnal], 2013, no. 2, pp. 66–73.
- [7] Zalesov S.V., Opletaev A.S., Terin A.A. *Formirovaniye iskusstvennykh nasazhdeniy sosny obyknovennoy (Pinus sylvestris L.) na rekul'tivirovannom zolootvale* [Formation of artificial plantations of pine (*Pinus sylvestris* L.) on reclaimed ash disposal area]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016, no. 8 (150), pp. 14–23.
- [8] Yusupov I.A., Luganskiy N.A., Zalesov S.V. *Sostoyaniye iskusstvennykh sosnovykh molodnyakov v usloviyakh aeropromy-brossov* [State of artificial pine young stands in terms of Agroprombiznes]. Ekaterinburg: UGLTA, 1999, 182 p.
- [9] Zalesov S.V., Uzhigin Yu.V. *Rost iskusstvennykh sosnovykh nasazhdeniy v rayone Vostochno-Ural'skogo radioaktivnogo sleda* [Huggin the Growth of artificial pine plantations in the area of East-Ural radioactive trace]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2014, no. 8 (126), pp. 46–49.
- [10] Zalesov S.V., Uzhigin Yu.V., Zalesova E.S. *Iskusstvennoe lesovosstanovleniye na territoriyakh, zagryaznennykh radionuklidami* [Artificial reforestation on the areas contaminated with radionuclides]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2014, no. 2. URL: www Science-education. EN / 116-12329 (accessed 30.08.2018).
- [11] Zalesov S.V., Tolkach O.V., Freyberg I.A., Chernousova N.F. *Opyt sozdaniya lesnykh kul'tur na solontsakh khoroshey lesopriгодnosti* [The experience of creating forest-based cultures in solontsi good mesoprosodes]. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* [Ecology and industry of Russia], 2017, t. 21, no. 9, pp. 42–47.
- [12] Zalesov S.V., Freyberg I.A., Tolkach O.V. *Problema povysheniya produktivnosti nasazhdeniy lesostepnogo Zaural'ya* [The Problem of increasing productive activity spaces of the forest-steppe TRANS-Urals]. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian journal of forest], 2016, no. 3, pp. 84–89.
- [13] Danilik V.N., Isaeva R.P., Terekhov G.G., Freyberg I.A., Zalesov S.V., Luganskiy V.N., Luganskiy N.A. *Rekomendatsii po lesovosstanovleniyu i lesorazvedeniyu* [Recommendations for reforestation and afforestation]. Ekaterinburg: UGLTA, 2001, 117 p.
- [14] Anan'ev E.M., Zalesov S.V., Luganskiy N.A., Shubin D.A., Osipenko A.E. *Opyt vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v Altayskom krae* [Experience of growing plating stock with root-balled tree system on the territory of Altai kra]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2017, no. 8 (162), pp. 4–10.

- [15] Zalesov S.V., Zoteeva E.A., Magasumova A.G., Shvaleva N.P. *Osnovy fitomonitoringa* [The basics of forest monitoring]. Ekaterinburg: UGLTU, 2007, 76 p.
- [16] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ekologicheskiy monitoring lesnykh nasazhdeniy rekreatsionnogo naznacheniya* [Ecological monitoring of forest vegetation re-creation purposes]. Ekaterinburg: UGLTU, 2015, 152 p.
- [17] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ispol'zovanie kompleksnogo otsenochного pokazatelya pri otsenke sostoyaniya sosnyakov Gosudarstvennogo lesnogo prirodnogo rezervata «Se-mey ormany»* [Integrated evaluation of indicators of La in the assessment of pine forests of the State forest natural reserve «Lo-Mei ormany»]. *Izvestiya SPbLTA* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2016, no. 215, pp. 41–54.
- [18] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ispol'zovanie kompleksnogo otsenochного pokazatelya dlya otsenki sostoyaniya rekreatsionnykh sosnyakov GNPP «Burabay»* [The Use of comprehensive assessment measures La to assess the status of the recreational pine forests of SNNP «Burabay»]. *Byulleten' nauki i praktiki* [Bulletin of science and practice], 2016, no. 3, pp. 46–55.
- [19] Dancheva A.V., Zalesov S.V. *Ispol'zovanie kompleksnogo otsenochного pokazatelya v otsenke sostoyaniya rekreatsionnykh sosnyakov Bayanaul'skogo GNPP* [Integrated evaluation of indicators of La in the assessment of the recreational pine forests Bayanaul GNPP]. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altaysky state agrarian University], 2016, no. 7 (141), pp. 51–61.
- [20] Iskakov S.I., Zhorabekova Zh.T., Elemenov M.M. *Sovremennoe sostoyanie iskusstvennykh sosnovykh nasazhdeniy v lentochnykh borakh Priirtysh'ya* [Sovremennoe the state of artificial pine plantations in the belt forests of Irtysh region]. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Razvitie «zelenoy ekonomiki» i sokhranenie biologicheskogo raznoobraziya, Shchuchinsk, Kollidzh ekologii i lesnogo khozyaystva, 8–9 oktyabrya 2013 g.* [International scientific-practical conference «Development of «green economy» and preservation of biological diversity (Shchuchinsk, 8–9 October 2013)]. Shchuchinsk, 2013, pp. 117–123.

Authors' information

Zalesova Evgeniya Sergeevna — Cand. Sci. (Agriculture), Associated Professor of the Ural State Forest Engineering University (USFEU), kaly88@mail.ru

Anan'ev Egor Mikhailovich — pg., Ural State Forest Engineering University (USFEU), lesnoe_ooo@mail.ru

Osipenko Aleksey Evgen'evich — pg., Ural State Forest Engineering University (USFEU), osipenko_alexey@mail.ru

Shubin Denis Andreyevich — Cand. Sci. (Agriculture), The Ural state forest engineering university, bobrovka@altailes.com

Terekhov Gennadiy Grigor'yevich — Dr. Sci. (Agriculture), Senior Scientific Worker, FGBU science «Botanic garden» of the Ural Branch of the Russian academy of sciences, terekhov_g_g@mail.ru

Received 03.10.2018.

Accepted for publication 19.11.2018.

УДК 630*1

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-28-36

СРАВНЕНИЕ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (*BETULA PENDULA* ROTH.) С РАЗНЫМИ ТИПАМИ КОРЫ ПО ВЕГЕТАТИВНЫМ И ГЕНЕРАТИВНЫМ ПРИЗНАКАМ

Е.Н. Наквасина¹, А.В. Некрасова¹, Н.А. Прожерина²

¹Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, 163002, г. Архангельск, набережная Северной Двины, д. 17

²ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН, 163000, г. Архангельск, набережная Северной Двины, д. 23

e.nakvasina@narfu.ru

В мире и особенно в России меняется хозяйственное отношение к березе, разрабатываются подходы к ее лесовосстановлению. На севере, в том числе в Архангельской области, площади березняков увеличиваются (Чупров, 2008). Знание полиморфизма березы, связи морфологических признаков с целевыми (быстрота роста, качество ствола и древесины) позволит вести хозяйство на селекционной основе. Оценка морфотипов березы должна вестись в разных условиях произрастания, учитывая ее высокую адаптационную приспособляемость. Нами изучены формы березы (*Betula pendula* Roth.), выделенные по типу трещиноватости коры, по биометрическим показателям вегетативной и генеративной сферы в подзоне северной тайги. Исследования проводились на территории города Архангельска, в аллейных посадках березы повислой, где были выявлены и замаркированы по 20 деревьев близкого возраста каждой изучаемой формы — гладкокорой, ромбовидно-трещиноватой и грубокорой, которые подбирали, основываясь на описания А.С. Яблокова (1962). Сравнительная оценка морфотипов березы по вегетативным и генеративным признакам показала неоднозначность сходства между ними, связанную с генетическими особенностями и ростовыми проявлениями, установленными ранее рядом авторов. Наиболее заметные статистически доказуемые различия наблюдались между гладкокорой и грубокорой формами. Из всех изученных нами показателей вегетативной и генеративной сферы выявлено 53 % парных случаев различий между формами, причем половина приходится на пару морфотипов «гладкокорая — грубокорая». Ромбовидно-трещиноватая форма березы в большинстве случаев занимала промежуточное положение по биометрическим и численным параметрам ауксибластов, брахибластов и листовых пластинок на них, параметрам сережек, орешков и семян. По качеству семян (масса 1000 шт., всхожесть, энергия прорастания) преимущество имели грубокорая и ромбовидно-трещиноватая формы, по сравнению с гладкокорой, у которой оказалось более 80 % пустых семян.

Ключевые слова: береза повислая, формы коры, изменчивость, ветви, листья, сережки, семена

Ссылка для цитирования: Наквасина Е.Н., Некрасова А.В., Прожерина Н.А. Сравнение березы повислой (*Betula pendula* Roth.) с разными типами коры по вегетативным и генеративным признакам // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 28–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-28-36

Береза повислая (*Betula pendula* Roth.), произрастающая совместно с березой пушистой, имеет широкую естественную зону распространения на евразийском континенте: от Атлантики до Восточной Сибири. Наибольшие ее ресурсы сосредоточены в умеренных и бореальных лесах Европы. В последние десятилетия коммерческая роль березы в мире возрастает, что вызвало всплеск активности исследований по ее росту [1, 2], по подбору мест и условий для выращивания высококачественных насаждений березы, в том числе и при ожидаемых климатических изменениях [3–5].

Меняется хозяйственное отношение к березе и в России. Одной из причин этого может быть истощение лесного фонда хвойных пород, замена его в многолесных районах на пионерную растительность, одной из которых и является береза. По данным В.Ф. Коновалова [6], в более южной части ареала березы повислой, в результате интенсивной эксплуатации, произошло значительное сокращение высокопродуктивных насаждений, в то время как на севере, площади

березняков, наоборот, растут [7]. С 1965 г. площадь березняков на Европейском Севере России увеличилась на 3,8 %, в том числе в Архангельской области на 9,0 %, в Вологодской — на 7,9 %, в Республике Коми уменьшился на 0,4 %. Однако фактическое увеличение площади березняков значительно больше. Только в Архангельской области по данным Лесного плана [8] площадь березняков составляет 4798,1 тыс. га (22 %). В связи с этим в России, с одной стороны, можно говорить о лесовосстановлении березы, с другой — о формировании высокопродуктивных насаждений, произрастающих на лесосеках при смене пород. И то и другое требует изучения полиморфизма березы, связи ее морфологических признаков с целевыми (прежде всего, быстрота роста, качество ствола и древесины) для ведения хозяйства на селекционной основе.

Береза отличается высокой морфолого-физиологической пластичностью, которая проявляется по различным признакам в пределах рода и вида [9, 10]. При изучении ее изменчивости основным

маркером было принято соотношение на стволах трещиноватой коры различной конфигурации и размеров с гладкой берестой, цвет коры и параметры корки. Именно с этими признаками тесно связаны показатели роста, строения и технических свойств древесины [6, 11–14].

По морфологии коры ствола березы, дифференцируя различные ее показатели, исследователи выделяли от 3–4 форм до 12 [15–17]. Однако классическими остаются формы, выделенные А.С. Яблоковым — ромбовидно-трещиноватая, гладкокорая и грубокорая, принципиально отличающиеся внешним обликом и высотой поднятия корки. Такое деление считается наиболее предпочтительным с хозяйственной точки зрения [13] и применялось в дальнейшем многими авторами для целенаправленных селекционных исследований. Деление на три морфогруппы сочетается и с современными исследованиями белкового комплекса [18], которые позволили разделить все березы в две группы по степени белковой гетерогенности: гладкокорые и трещиноватые.

Важным дополнением к изучению полиморфизма березы является дифференциация вегетативных и генеративных признаков и наследуемость морфотипологических проявлений в потомстве [12, 16, 19]. Особый интерес вызывают структурно-функциональные особенности кроны, связанные с деятельностью листового аппарата, обеспечивающего транспорт ассимилянтов [20–22]. Обладая высокой приспособляемостью к условиям произрастания, береза в результате естественного отбора выработала признаки, отражающиеся в ее географической изменчивости по морфотипам [23] и строению кроны [24]. Это предполагает изучение полиморфизма березы по различным показателям в различных условиях произрастания, однако на Европейском Севере России подобные исследования ранее не проводились.

Цель работы

Цель исследований — сравнение форм березы повислой (*Betula pendula* Roth.), отличающихся по типу трещиноватости коры, по биометрическим показателям вегетативной и генеративной сферы в подзоне северной тайги.

Объекты и методы

Исследования проводились на территории города Архангельска, в аллеиных посадках березы повислой, где были выявлены и замаркированы по 20 деревьев близкого возраста (VI–VII классы возраста) каждой изучаемой формы — гладкокорой, ромбовидно-трещиноватой и грубокорой, которые подбирали, основываясь на описания А.С. Яблокова [15].

Для изучения вегетативной сферы летом 2017 г. срезали по 30 веток с каждой формы деревьев березы в период полного развития листа и приростов (конец июля) в нижней части кроны, на высоте 1,5–2,0 м от поверхности земли. Учитывая различную роль ауксибластов (увеличение линейных параметров кроны) и брахибластов (развитие генеративных органов или обеспечение кроны ассимилянтами) в кроне [20], учет биометрических показателей побегов и листьев на них вели отдельно.

Определяли и учитывали следующие показатели: прирост ауксибластов за три последних года, длина брахибласта и число листьев на брахибласте прошлого года, число листьев на ауксибласте текущего года, число ауксибластов 2017 г. на одном побеге прошлого года, число брахибластов на единицу длины ветки. С каждой ветви отбирали по два неповрежденных максимально развитых листа с побегов обоих типов (всего 360 шт.), у которых определяли длину и ширину листа, длину черешка, количество жилок, расстояние от основания листа до наиболее широкой части, высчитывали отношение длины к ширине листа и отношение длины черешка к длине листа. Эти параметры традиционно используют при изучении вегетативной сферы (побеги, листья) березы [16, 20, 21].

Для изучения генеративной сферы в конце лета (август) собирали сережки — по 100 шт. с каждой формы березы (с одной высоты дерева и стороны света). У сережек измеряли длину и ширину. Хранили сережки в прохладном помещении (0–5 °С), в деревянных ящиках, застеленных бумагой. У очищенных семян измеряли длину и ширину орешка и семянки, следуя рекомендациям [16, 25]. Измерение проводили с помощью микроскопа МБС-9 с двукратным увеличением, с точностью 0,1 мм.

У разных форм березы определили массу 1000 шт. семян в соответствии с [26]. Проращивали семена согласно действующего ГОСТ [27] в чашках Петри (по 50 шт. семян в трех повторностях).

Биометрические показатели обрабатывали методами вариационной статистики [28]. Сравнение пар признаков между формами проводили, используя критерий Стьюдента.

Результаты и обсуждение

Из биометрических показателей вегетативной сферы березы, прежде всего, обращает на себя внимание линейный прирост ауксибластов, обеспечивающий формирование габитуса кроны (табл. 1). Несмотря на изменчивость прироста по годам, заметна разница между формами кроны по типу коры. По приростам трех лет преимущество

Т а б л и ц а 1

**Статистические значения морфолого-биометрических показателей
вегетативной сферы изученных форм березы повислой**
Statistical values of the morphological and biometric indicators in the vegetative sphere
of the studied forms of silver birch

Форма березы	Средние значения показателя			
	$X \pm m_x$	Cv	$X \pm m_x$	Cv
	Длина ауксибласта, см, 2017 г.		Длина ауксибласта, см, 2016 г.	
Гладкокорая	10,67 ± 0,63	7,9	8,94 ± 0,45	27,5
Ромбовидно-трещиноватая	10,50 ± 0,65	33,9	10,79 ± 0,54	27,2
Грубокорая	12,98 ± 0,68	28,9	11,95 ± 0,52	24,0
	Длина брахибласта, см		Число брахибластов*, шт.	
Гладкокорая	0,43 ± 0,03	34,1	1,63 ± 0,09	30,0
Ромбовидно-трещиноватая	0,54 ± 0,04	40,5	1,40 ± 0,09	35,6
Грубокорая	0,44 ± 0,03	34,4	1,13 ± 0,06	30,5
	Число листьев на ауксибласте, шт.		Число листьев на брахибласте, шт.	
Гладкокорая	6,00 ± 0,23	20,5	2,40 ± 0,10	23,5
Ромбовидно-трещиноватая	5,60 ± 0,20	19,1	2,60 ± 0,09	19,2
Грубокорая	5,83 ± 0,17	15,7	2,40 ± 0,11	25,9
	Длина листа ауксибласта, см		Длина листа брахибласта, см	
Гладкокорая	5,70 ± 0,11	14,5	6,39 ± 0,16	19,9
Ромбовидно-трещиноватая	5,23 ± 0,15	22,9	6,28 ± 0,15	18,2
Грубокорая	5,03 ± 0,07	11,5	5,81 ± 0,08	11,0
	Ширина листа ауксибласта, см		Ширина листа брахибласта, см	
Гладкокорая	4,34 ± 0,09	16,3	4,97 ± 0,11	17,2
Ромбовидно-трещиноватая	3,93 ± 0,10	19,0	4,80 ± 0,12	18,9
Грубокорая	3,68 ± 0,06	13,7	4,50 ± 0,06	10,9
	Число жилок на листе ауксибласта, шт.		Число жилок на листе брахибласта, шт.	
Гладкокорая	11,47 ± 0,18	12,38	11,43 ± 0,20	13,3
Ромбовидно-трещиноватая	10,67 ± 0,24	17,49	11,37 ± 0,18	12,3
Грубокорая	10,53 ± 0,14	10,41	10,90 ± 0,13	9,2

Примечание. * — на 10 см длины побега; X — среднее значение; m_x — стандартная ошибка среднего значения; Cv — коэффициент изменчивости, %.

по длине ауксибласта имела грубокорая форма, однако достоверность различий устойчиво сохранялась только между гладкокорой и грубокорой формами (табл. 2). В парах сравнений с участием ромбовидно-трещиноватой формы достоверные различия проявлялись в отдельные годы. Это может быть связано с тем, что ряд авторов [12, 13] по ростовым показателям ромбовидно-трещиноватую форму относят к промежуточной форме с неустойчивыми признаками. Но, все же, чаще ромбовидно-трещиноватую форму березы вместе с гладкокорой формой относят к быстрорастущим [13, 19]. Такая близость этих форм по росту не противоречит современным исследованиям: по структуре белкового комплекса ромбовидно-трещиноватая форма березы не выделяется [18].

Различия по показателям формирования укороченных побегов (брахибластов) в кроне различных форм березы невелики (см. табл. 1). Наибольшую значимость имеет признак числа брахибластов на единице длины ауксибласта, связанный с линейным ростом последнего у разных форм (см. табл. 2).

Ассимиляционный аппарат березы обусловлен развитием листовых пластинок на ауксибластах и брахибластах и связан с их структурным формированием [20]. Это отражается и на биометрических показателях листьев, формирующихся на побегах разного статуса. В целом, параметры листьев брахибластов (в пределах форм березы) несколько превышают одноименные параметры листьев на ауксибластах (см. табл. 1) при однозначных коэффициентах изменчивости.

Таблица 2

Достоверность различий средних значений показателей вегетативной сферы между изученными формами березы повислой (t_{st} по Стьюденту)

Reliability of differences in average values of vegetative sphere indicators between the studied forms of birch (t_{st} by Student)

Показатели	Сравниваемые формы березы		
	Гладкокорая и ромбовидно-трещиноватая	Гладкокорая и грубокорая	Ромбовидно-трещиноватая и грубокорая
Длина ауксибласта, см, 2017 г.	0,19	2,49	2,63
Длина ауксибласта, см, 2016 г.	2,65	4,36	1,55
Длина брахибласта, см	2,29	0,26	2,06
Число брахибластов*, шт.	1,80	4,57	2,44
Число листьев на брахибласте, шт.	1,46	0,00	1,38
Число листьев на ауксибласте, шт.	1,34	0,61	0,90
Длина листа ауксибласта, см	2,50	5,14	1,16
Длина листа брахибласта, см	0,50	3,18	2,80
Ширина листа ауксибласта, см	3,16	5,94	2,13
Ширина листа брахибласта, см	1,08	3,72	2,26
Число жилок на листе ауксибласта, шт.	2,64	4,03	0,48
Число жилок на листе брахибласта, шт.	0,25	2,27	2,10

Примечание. * — на 10 см длины побега; $t_{005} = 2$; жирным выделены значения, достоверные при $t_{st} \geq t_{005}$.

Наибольшие размеры листьев на ростовых побегах отмечены у гладкокорой березы (длина 5,7 см, ширина 4,3 см), наименьшие — у грубокорой (5,0 см и 3,7 см соответственно). Ромбовидно-трещиноватая форма занимает промежуточное положение. При сравнении показателей листьев ауксибластов по формам березы, выделенным по типу коры, установлены четкие различия между всеми формами по ширине листа, а также между гладкокорой формой с другими по длине листа и числу жилок (см. табл. 2). По всем парам морфотипов березы доказаны различия и по отношению длины черешка к длине листа (t_{st} составило от 2,0 до 5,8 при $t_{005} = 2,0$). Отношение длины листа к его ширине остается достаточно стабильным (1,33–1,38) и достоверно не различается между формами.

Таблица 3

Статистические значения морфолого-биометрических показателей генеративной сферы изученных форм березы повислой

Statistical values of morphological and biometric indicators in the generative sphere of the studied forms of silver birch

Форма березы	Средние значения показателя			
	$X \pm m_x$	Cv	$X \pm m_x$	Cv
	Длина срезки, см		Ширина срезки, см	
Гладкокорая	3,16 ± 0,03	10,7	0,63 ± 0,01	11,9
Ромбовидно-трещиноватая	3,20 ± 0,03	9,5	0,59 ± 0,01	10,1
Грубокорая	3,04 ± 0,03	10,3	0,58 ± 0,01	12,0
	Длина орешка, мм		Ширина орешка, мм	
Гладкокорая	1,80 ± 0,03	12,2	0,82 ± 0,02	12,7
Ромбовидно-трещиноватая	1,77 ± 0,03	10,3	0,90 ± 0,02	13,7
Грубокорая	2,04 ± 0,06	22,3	0,92 ± 0,02	12,4
	Длина семянки, мм		Ширина семянки, мм	
Гладкокорая	2,67 ± 0,06	14,9	3,52 ± 0,06	11,2
Ромбовидно-трещиноватая	2,31 ± 0,03	10,6	2,71 ± 0,03	7,7
Грубокорая	2,35 ± 0,06	17,6	2,94 ± 0,06	14,5
	Отношение ширины орешка к его длине		Отношение ширины орешка к ширине семянки	
Гладкокорая	0,46 ± 0,01	13,7	0,23 ± 0,004	12,7
Ромбовидно-трещиноватая	0,51 ± 0,01	14,5	0,33 ± 0,01	14,7
Грубокорая	0,47 ± 0,02	23,5	0,32 ± 0,01	14,9

Примечание. X — среднее значение; m_x — стандартная ошибка среднего значения; Cv — коэффициент изменчивости, %.

У листьев брахибластов размерная тенденция показателей у разных морфотипов по коре аналогична листьям на ауксибластах: наибольшие размеры листовой пластинки (длина и ширина) у гладкокорой формы составляют 6,4 см и 5,0 см, наименьшие у грубокорой — 5,8 см и 4,5 см соответственно. По всем биометрическим и численным показателям развития ассимиляционного аппарата на укороченных побегах доказанными можно считать (см табл. 2) различия между гладкокорой и грубокорой формами березы. В отдельных случаях (параметры длины и ширины листа, число жилок) доказаны различия и между ромбовидно-трещиноватой и грубокорой формами. Практически отсутствуют достоверные связи по показателям листового аппарата

брахибластов между гладкокорой и ромбовидно-трещиноватой формами.

Относительные показатели, рассчитанные для листьев брахибластов, такие как отношение длины листа к ширине листа, длины черешка к длине листа, у различных морфотипов березы остаются достаточно стабильными. В отличие от листьев ауксисбластов, дифференцируется показатель «отношение от основания до наиболее широкой части листа», который у разных форм колеблется от 2,03 до 2,42, и отражает достоверные различия между грубокорой березой и другими морфотипами.

При изучении генеративной сферы морфотипов березы уделили внимание параметрам женских сережек, семян и орешков, изменчивость которых в пределах форм ниже, чем у вегетативных органов, и составляет 8–22 % (табл. 3). Средние параметры имеют в ряде случаев тенденцию увеличения от гладкокорой к грубокорой форме березы (длина и ширина орешка) и в ряде случаев обратную тенденцию — уменьшение от гладкокорой к грубокорой (длина и толщина сережки и семянки). Ромбовидно-трещиноватая форма чаще всего занимает промежуточное положение.

В результате различия доказуемы по всем показателям генеративной сферы между гладкокорой к грубокорой формами березы (табл. 4).

Т а б л и ц а 4
Достоверность различий средних значений показателей генеративной сферы между изученными формами березы повислой (t_{st} по Стьюденту)

Reliability of differences in the average values of the generative sphere indicators between the studied forms of silver birch (t_{st} according to Student)

Показатели	Сравниваемые формы березы		
	Гладкокорая и ромбовидно-трещиноватая	Гладкокорая и грубокорая	Ромбовидно-трещиноватая и грубокорая
Длина сережки, см	0,858	2,527	3,575
Толщина сережки, см	3,505	4,959	1,853
Длина орешка, мм	0,707	3,577	4,025
Ширина орешка, мм	3,200	4,000	0,707
Длина семянки, мм	5,667	3,899	0,596
Ширина семянки, мм	12,750	7,067	3,429
Отношение ширины орешка к его длине	3,717	0,456	1,789
Отношение ширины орешка к ширине семянки	9,285	8,356	0,710

Примечание. $t_{005} = 2$; жирным выделены значения, достоверные при $t_{st} \geq t_{005}$.

Достоверные различия показали и рассчитанные нами относительные показатели генеративной сферы: отношение длины к толщине сережки ($t_{st} = 2,57$ при $t_{005} = 2,0$), отношение ширины орешка к ширине семянки ($t_{st} = 8,34$ при $t_{005} = 2,0$). По отношению ширины орешка к его длине различий нет ($t_{st} = 0,46$ при $t_{005} = 2,0$).

Отличия ромбовидно-трещиноватой формой березы от других морфотипов по изученным показателям генеративной сферы проявляются неоднозначно. Доказаны различия между парой ромбовидно-трещиноватая форма и гладкокорая форма по толщине сережки, по ширине орешка, по параметрам семянки и по всем относительным показателям. Между ромбовидно-трещиноватой и грубокорой формами установлены различия лишь по длинам сережки и орешка, по ширине семянки и по отношению ширины орешка к его длине.

В связи с возможностью использования семян березы для лесовосстановления встает вопрос об их качестве. По литературным данным, при оптимальных условиях хранения, к весне следующего года, семена березы сохраняют всхожесть от 16 до 23 %, а в лучшем случае до 36 % [29]. В нашем случае абсолютная всхожесть семян урожая 2017 г. составила у разных форм березы от 28 до 54 % (в среднем 45 %), что для сложившихся погодных условий года их формирования является высоким показателем (табл. 5). Низкая всхожесть гладкокорой березы связана с большим количеством (55 %) пустых семян, что определено при взрезывании после прорастивания. Невыполненность семян может быть связана с их недостаточным опылением. Всхожесть, энергия прорастания у ромбовидно-трещиноватой и грубокорой форм березы достаточно близки, и превышают одноименные показатели гладкокорой березы на 30–50 %.

Наличие большого количества пустых семян у гладкокорой березы сказалось и на их массе (см. табл. 5). Наибольшая масса 1000 шт. семян у грубокорой формы березы. У ромбовидно-трещиноватой и гладкокорой березы она ниже на 20 и 55 % соответственно.

Оценка трех морфотипов березы, выделенных по коре, по вегетативным и генеративным признакам показала неоднозначность сходства между ними, связанную с их генетическими особенностями и ростовыми проявлениями, установленными рядом авторов. Большинство авторов по скорости роста, качеству ствола отдают предпочтение гладкокорой и ромбовидно-трещиноватой формам, отличающимся прямослойностью древесины [6, 12, 13, 19]. Грубокорая форма отличается волнисто-свилеватой древесиной и ее в насаждениях встречается всего 3–5 %. Эти различия отражаются и в интенсивности роста, формировании кроны

Показатели качества семян изученных форм березы повислой
Indicators of seed quality of the studied forms of silver birch

Форма березы	Масса 1000 шт. семян, г	Энергия прорастания, %	Всхожесть, %		Средний семенной покой	Доля пустых семян, %
			Абсолютная	Техническая		
Гладкокорая	0,094	12,0	28,4	12,7	5,7	55
Ромбовидно-трещиноватая	0,167	42,0	52,0	43,0	5,5	17
Грубокорая	0,209	40,0	54,5	40,0	5,1	27

и ассимиляционного аппарата, хотя по отдельным показателям носят неоднозначный характер.

Из всех изученных нами показателей вегетативной и генеративной сферы выявлено 53 % парных случаев доказанных различий между формами, что соответствует исследованиям М.А. Данченко, С.А. Кабановой [30, 31]. Из этого числа половина доказанных различий относится к паре морфотипов «гладкокорая — грубокорая». Ромбовидно-трещиноватая форма в 16 % случаев дает отличия от гладкокорой и в 13 % случаев от грубокорой, что еще раз подтверждает ее промежуточное положение.

Выводы

Изучение у березы повислой (*Betula pendula* Roth.) морфолого-биометрических показателей вегетативной и генеративной сфер в пределах морфотипов, выделенных по типу трещиноватости коры (гладкокорая, ромбовидно-трещиноватая и грубокорая формы) в подзоне северной тайги, показало, что наиболее заметные статистически доказуемые различия чаще всего наблюдались между гладкокорой и грубокорой формами. Ромбовидно-трещиноватая форма березы, в большинстве случаев, по биометрическим и численным параметрам ауксбластов, брахибластов и листовых пластинок на них, параметрам сережек, орешков и семян занимала промежуточное положение. По качеству семян (масса 1000 шт., всхожесть, энергия прорастания) преимущество имели грубокорая и ромбовидно-трещиноватая формы, по сравнению с гладкокорой, что предполагает проведение фенологических наблюдений за процессами цветения и опыления.

Список литературы

- [1] Renou F., Scallan U., Keane M., Farrell E.P. Early performance of native birch (*Betula* spp.) planted on cutaway peatlands: influence of species, stock types and seedlings size // *European J. of Forest Research*, 2007, v. 126, pp. 545–554.
- [2] Hynynen J., Nirmistö P., Vinerä-Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth. and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe // *Forestry*, 2010, v. 83, no. 1, pp. 103–119.
- [3] Gagne L.-V., Genet A., Weiskittel A., Achim A. Assessing the Potential Stem Growth and Quality of Yellow Birch Prior to Restoration: A Case Study in Eastern Canada // *J. of Forests*, 2013, no. 4, pp. 766–785.
- [4] Oluwatobi A., Jian R. Assessing effects of seed source and transfer potential of white birch populations using transfer functions // *Open J. of ecology*, 2013, v. 3, no. 5, pp. 359–369.
- [5] Jankovska I., Brumelis G., Nikodemus O., Kasparinskis R., Amatniece V., Straupmanis G. Tree Species Establishment in Urban Forest in Relation to Vegetation Composition, Tree Canopy Gap Area and Soil Factors // *Forests*, 2015, no. 6, pp. 4451–4461.
- [6] Коновалов В.Ф. Селекция и разведение березы повислой на Южном Урале. М.: МГУЛ, 2002. 299 с.
- [7] Чупров Н.П. Березняки Европейского Севера России. Архангельск: СевНИИЛХ, 2008. 386 с.
- [8] Лесной план Архангельской области. Утвержден указом Губернатора Архангельской области от 20 декабря 2011 г. № 175-у. Портал Правительства Архангельской области. URL: <https://dvinland.ru/-k888b8aj> (дата обращения 28.03.2018).
- [9] Махнев А.К. Внутривидовая изменчивость и популяционная структура берез секции *Albae* и *Nanae*. М.: Наука, 1987. 128 с.
- [10] Ветчинникова Л.В. Береза: вопросы изменчивости (морфо-физиологические и биохимические аспекты). М.: Наука, 2004. 183 с.
- [11] Косиченко Н.Е., Попов В.К., Ломовских Ю.А. Анатомическая структура коры форм березы повислой в связи с различным характером накопления и растрескивания корки // *Селекционные основы повышения продуктивности лесов: сб. научн. тр. Воронеж: ВГЛТУ, 1979. С. 26–34.*
- [12] Галеев Э.И. Березняки Южного Урала (на примере березы повислой): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук, 06.03.03. Екатеринбург, 2000. 23 с.
- [13] Коновалов В.Ф. Береза повислая на Южном Урале: структура популяции, селекция и воспроизводство: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Йошкар-Ола, 2003. 43 с.
- [14] Козьмин А.В. Селекция хозяйственно ценных форм березы // *Лесная генетика и селекция на рубеже тысячелетий: материалы научно-практической конференции, г. Воронеж, НИИЛГиС, 26–29 июня 2001 г. Воронеж: НИИЛГиС, 2002. С. 81–88.*
- [15] Яблоков А.С. Селекция древесных пород. М.: Сельхозиздат, 1962. 487 с.
- [16] Комин Г.Е. Возрастная структура древостоя в лесах России. Сочи: НИИгорлескол, 2003. 219 с.
- [17] Попов В.К. Березовые леса Центральной лесостепи России. Воронеж: ВГУ, 2003. 424 с.
- [18] Клещева Е.В. Индивидуальная изменчивость березы повислой по формам трещиноватости коры в ЦЧО: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук 06.03.01. Воронеж, 2007. 18 с.

- [19] Погиба С.П., Казанцева Е.В. Гибридологический анализ сибсов березы повислой по коре // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник, 2014. № 4. С. 6–12.
- [20] Николаева Н.Н. Формирование листового аппарата у форм березы повислой (*Betula pendula* Roth.) с разной текстурой древесины: автореф. дис. ... канд. биол. наук, спец. 03.00.05. Санкт-Петербург, 2004. 25 с.
- [21] Феклистов П.А., Амосова И.Б. Морфолого-физиологические и экологические особенности березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в таежной зоне. Архангельск: ИПЦ САФУ, 2013. 214 с.
- [22] Хикматуллина Г.Р. Сравнительный анализ морфологических параметров листьев древесных растений в условиях урбанизированной среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук, 03.02.08. Казань, 2013. 24 с.
- [23] Махнев А.К. Внутривидовая изменчивость и ценные для селекции формы березы Урала // Лесная генетика, селекция и семеноводство: сб. научн. статей / научный редактор Г.В. Крылов. Петрозаводск: Карелия, 1970. С. 266–270.
- [24] Ермаков В.И. Структурные адаптации березы на Севере // Тезисы Всесоюзного совещания по вопросам адаптации растений к экстремальным условиям среды в северных районах СССР (Петрозаводск, ПетрГУ, 14–17 сентября 1971 г.). Петрозаводск: ПетрГУ, 1971. С. 15–17.
- [25] Исаков Ю.Н., Миленная Л.А., Иевлев В.В., Исаков И.Ю. Влияние самоопыления на качество семян и рост потомства у некоторых видов березы // Генетические и экологические основы повышения продуктивности лесов: сб. науч. тр. Воронеж: НИИЛГиС, 1993. С. 23–30.
- [26] ГОСТ 13056.4–67. Семена деревьев и кустарников. Методы определения массы 1000 семян. М.: Госстандарт, 1968. 62 с.
- [27] ГОСТ 13056.6–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести. М.: Госстандарт, 1998. 31 с.
- [28] Гусев И.И. Моделирование экосистем. Архангельск: АГТУ, 2002. 112 с.
- [29] Пентелькина Н.В., Иванюшева Г.И. Выращивание сеянцев березы повислой с использованием регуляторов роста // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2012. Вып. 31. С. 193–197.
- [30] Кабанова С.А., Кабанов А.Н., Борцов В.А. Изучение ассимиляционного аппарата березы повислой в пригородных лесах г. Астаны // Сб. тр. конф. «Эколого-экономическая эффективность природопользования на современном этапе развития Западно-Сибирского региона», Омск, Омский государственный педагогический университет, 21 апреля 2017 г. / отв. ред. А.И. Григорьев. Омск: Омский государственный педагогический университет, 2017. С. 90–92.
- [31] Кабанова С.А., Данченко М.А., Борцов В.А. Результаты наблюдений за ростом и сохранностью пересаженных деревьев березы повислой в зеленой зоне г. Астаны // Экология урбанизированных территорий. 2018. № 1. С. 18–23.

Сведения об авторах

Наквасина Елена Николаевна — д-р с.-х. наук, профессор каф. лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, e.nakvasina@narfu.ru

Некрасова Алена Викторовна — аспирант каф. лесоводства и лесоустройства Высшей школы естественных наук и технологий Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, a.v.nekrasova@narfu.ru

Прожерина Надежда Александровна — канд. биол. наук, ст. научный сотрудник лаборатории экологии популяций и сообществ ФГБУН Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова РАН, pronad1@yandex.ru

Поступила в редакцию 15.05.2018.

Принята к публикации 26.12.2018.

COMPARISON OF SILVER BIRCH (*BETULA PENDULA* ROTH.) WITH DIFFERENT TYPES OF BARK ON VEGETATIVE AND GENERATIVE CHARACTERISTICS

E.N. Nakvasina¹, A.V. Nekrasova¹, N.A. Prozherina²

¹Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Severnaya Dvina emb. 17, 163002, Arkhangelsk, Russia

²N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Laboratory of Population Ecology, Severnaya Dvina emb. 23, 163000, Arkhangelsk, Russia

e.nakvasina@narfu.ru

In the world, in Russia in particular, management attitude to the birch is being changed and approaches to its reforestation are being developed. In the North, including Arkhangelsk Region, the area of birch forests is increasing (Chuprov, 2008), which requires developing specific approaches to the formation of highly productive birch plantations. Knowledge of birch polymorphism, connections of morphological features with the target ones (quickness of growth, quality of trunk and wood) will allow to provide forest management on a selection basis. Assessment of birch morphotypes should be carried out in different growth conditions, taking into account its high adaptability. We have studied the forms of birch (*Betula pendula* Roth.), selected by the type of the bark fissuring according to biometric indicators of vegetative and generative spheres in Northern taiga subzone. The research was carried out in the city of Arkhangelsk, in alley cropping of silver birch, where 20 even-aged trees of each studied form—glamcore, diamond-fractured and coarse bark core were identified and marked according to the descriptions by A. S. Yablokov (1962). Comparative evaluation of morphotypes of birch on vegetative and generative characteristics showed the ambiguity of the similarities between them which is associated with genetic characteristics and growth display, indicated previously by several authors. The most evident statistically provable differences were observed between glamcore and coarse bark core forms. Of all the examined indicators of vegetative and generative sphere we revealed 53 % of the paired cases of differences between the forms. What is more, half of them is a couple of morphotypes «glamcore — coarse bark core». Diamond-fractured form birch occupied mostly an intermediate position based on biometrics and numerical parameters of auxiblast, brachyplast and leaf blade on them, as well as the parameters of aglet, nucule and seeds. In terms of the quality of seeds (weight of 1000 pieces, germination ability and energy) coarse bark core and diamond-fractured form had the advantage, over glamcore which had more than 80 % of empty seeds.

Keywords: silver birch, forms of bark, variability, branches, leaves, aglet, seeds

Suggested citation: Nakvasina E.N., Nekrasova A.V., Prozherina N.A. *Sravnienie berezy povisloy (Betula Pendula Roth.) s raznymi tipami kory po vegetativnym i generativnym priznakam* [Comparison of silver birch (*Betula pendula* Roth.) with different types of bark on vegetative and generative characteristics]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 28–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-28-36

References

- [1] Renou F., Scallan U., Keane M., Farrell E. P. Early performance of native birch (*Betula* spp.) planted on cutaway peatlands: influence of species, stock types and seedlings size. *European J. of Forest Research*, 2007, v. 126, pp. 545–554.
- [2] Hynynen J., Nirmistö P., Vinerä-Aarnio A., Brunner A., Hein S., Velling P. Silviculture of birch (*Betula pendula* Roth. and *Betula pubescens* Ehrh.) in northern Europe. *Forestry*, 2010, v. 83, no. 1, pp. 103–119.
- [3] Gagne L.-V., Genet A., Weiskittel A., Achim A. Assessing the Potential Stem Growth and Quality of Yellow Birch Prior to Restoration: A Case Study in Eastern Canada. *J. of Forests*, 2013, no. 4, pp. 766–785.
- [4] Oluwatobi A., Jian R. Assessing effects of seed source and transfer potential of white birch populations using transfer functions. *Open J. of ecology*, 2013, v. 3, no. 5, pp. 359–369.
- [5] Jankovska, I., Brumelis G.; Nikodemus O., Kasparinskis R., Amatniece V., Straupmanis G. Tree Species Establishment in Urban Forest in Relation to Vegetation Composition, Tree Canopy Gap Area and Soil Factors. *Forests*, 2015, no. 6, pp. 4451–4461.
- [6] Kononov V.F. *Selektsiya i razvedenie berezy povisloy na Yuzhnom Urale* [Breeding and breeding of birch in the southern Urals]. Moscow: MGUL, 2002, 299 p.
- [7] Chuprov N.P. *Bereznyaki Evropeyskogo Severa Rossii* [Birch forests of the European North of Russia]. Arkhangelsk: SevNIILH, 2008, 386 p.
- [8] *Lesnoy plan Arkhangel'skoy oblasti. Utverzhden ukazom Gubernatora Arkhangel'skoy oblasti ot 20 dekabrya 2011 g. № 175-u. Portal Pravitel'stva Arkhangel'skoy oblasti* [The forest plan of the Arkhangelsk region. Approved by the decree of the Governor of the Arkhangelsk region dated December 20, 2011 No. 175-y. Portal of the Government of the Arkhangelsk region]. Available at: <https://dvinaland.ru/-k888b8aj> (accessed 28.03.2018).
- [9] Makhnev A.K. *Vnutrividovaya izmenchivost' i populyatsionnaya struktura berez sektsii Albae i Nanae* [Intraspecific variability and population structure of birches in the Albae and Nanae sections]. Moscow: Science, 1987, 128 p.
- [10] Vetchinnikova L.V. *Bereza: voprosy izmenchivosti (morfo-fiziologicheskie i biokhimicheskie aspekty)* [Birch: questions of variability (morpho-physiological and biochemical aspects)]. Moscow: Science, 2004, 183 p.
- [11] Kosichenko N.E., Popov V.K., Lomovskikh Yu.A. *Anatomicheskaya struktura kory form berezy povisloy v svyazi s razlichnym kharakterom nakopleniya i rastreskivaniya korki* [The anatomical structure of the bark of the birch forms in connection with the different nature of the accumulation and cracking of the crust]. *Selektsionnye osnovy povysheniya produktivnosti lesov* [Selection basis for increasing the productivity of forests]. Voronezh: VGLTU, 1979, pp. 26–34.

- [12] Galeev E.I. *Bereznyaki Yuzhnogo Urala (na primere berezy povisloy)* [Birch forests of the Southern Urals (by the example of pendulous birch)]. Dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Ekaterinburg, 2000, 23 p.
- [13] Konovalov V.F. *Bereza povislaya na Yuzhnom Urale: struktura populyatsii, selektsiya i vosproizvodstvo: avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* [Hanging birch in the South Urals: population structure, selection and reproduction]. Dis. ... Cand. Sci. (Biol.). Yoshkar-Ola, 2003, 43 p.
- [14] Koz'min A.V. *Selektsiya khozyaystvenno tsennykh form berezy* [Selection of economically valuable forms of birch] *Lesnaya genetika i selektsiya na rubezhe tsysyacheletiy: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii, g. Voronezh, NIILGiS, 26–29 iyunya 2001 g.* [Forest genetics and selection at the turn of the millennium: materials of the scientific-practical conference. Voronezh, NIILGiS, June 26–29, 2001]. Voronezh: NIILGiS, 2002, pp. 81–88.
- [15] Yablokov A.S. *Selektsiya drevesnykh porod* [Selection of tree species]. Moscow: Selkhozizdat, 1962, 487 p.
- [16] Komin G.E. *Vozrastnaya struktura drevostoya v lesakh Rossii* [The age structure of the stand in the forests of Russia]. Sochi: NIIGorlesakol, 2003, 219 p.
- [17] Popov V.K. *Berezovye lesa Tsentral'noy lesostepi Rossii* [Birch forests of Central forest-steppe of Russia]. Voronezh: VSU, 2003, 424 p.
- [18] Kleshcheva E.V. *Individual'naya izmenchivost' berezy povisloy po formam treshchinovatosti kory v TsChO* [Individual variability of birch hanging on the forms of fractured bark in CCHO]. Dis. ... Cand. Sci. (Agric.). Voronezh, 2007, 18 p.
- [19] Pogiba S.P., Kazantseva E.V. *Gibridologicheskiy analiz sibsov berezy povisloy po kore* [Hybridological analysis of siblings of birch hanging on the bark] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2014, no. 4, pp. 6–12.
- [20] Nikolaeva N.N. *Formirovaniye listovogo apparata u form berezy povisloy (Betula pendula Roth.) s raznoy teksturoy drevesiny* [The formation of the leaf apparatus in forms of birch (*Betula pendula* Roth.) with a different wood texture]. dis. ... Cand. Sci. (Biol.). St. Petersburg, 2004, 25 p.
- [21] Feklistov P.A., Amosova I.B. *Morfologo-fiziologicheskie i ekologicheskie osobennosti berezy povisloy (Betula pendula Roth.) v taezhnoy zone* [Morphological, physiological and ecological peculiarities of birch (*Betula pendula* Roth.) in the taiga zone]. Arkhangel'sk: Safu CPI, 2013, 214 p.
- [22] Khikmatullina G.R. *Sravnitel'nyy analiz morfologicheskikh parametrov list'ev drevesnykh rasteniy v usloviyakh urbanizirovannoy sredy* [Comparative analysis of the morphological parameters of the leaves of woody plants in an urbanized environment]. Dis. Cand. Sci. (Biol.). Kazan, 2013, 24 p.
- [23] Makhnev A.K. *Vnutrividovaya izmenchivost' i tsennyye dlya selektsii formy berez Urala* [Intraspecific variability and valuable for breeding forms of birch trees of the Urals]. *Lesnaya genetika, selektsiya i semenovodstvo* [Forest genetics, selection and seed production] Ed. G.V. Krylov. Petrozavodsk: Karelia, 1970, pp. 266–270.
- [24] Ermakov V.I. *Strukturnyye adaptatsii berezy na Severe* [Structural adaptations of birch in the North] *Tezisy Vsesoyuznogo soveshchaniya po voprosam adaptatsii rasteniy k ekstremal'nym usloviyam sredy v severnykh rayonakh SSSR*. Petrozavodsk, PetrGU, 14–17 sentyabrya 1971 g. [Abstracts of the All-Union Conference on Plant Adaptation to Extreme Environmental Conditions in the Northern Regions of the USSR. Petrozavodsk, PetrSU, September 14–17, 1971]. Petrozavodsk: PetrSU, 1971, pp. 15–17.
- [25] Isakov Yu.N., Milennaya L.A., Ievlev V.V., Isakov I.Yu. *Vliyaniye samoopyleniya na kachestvo semyan i rost potomstva u nekotorykh vidov berezy* [Influence of self-pollination on the quality of seeds and the growth of offspring in some species of birch] *Geneticheskie i ekologicheskie osnovy povysheniya produktivnosti lesov* [Genetic and environmental bases for increasing forest productivity]. Voronezh: NIILGiS, 1993, pp. 23–30.
- [26] *GOST 13056.4–67. Semena derev'ev i kustarnikov. Metody opredeleniya massy 1000 semyan* [GOST 13056.4–67. Seeds of trees and shrubs. Methods for determining the mass of 1000 seeds]. Moscow: Gosstandart, 1968, 62 c.
- [27] *GOST 13056.6–97. Semena derev'ev i kustarnikov. Metod opredeleniya vskhozhesti* [GOST 13056.6–97. Seeds of trees and shrubs. Method of determining the germination]. Moscow: Gosstandart, 1998, 31 p.
- [28] Gusev I.I. *Modelirovaniye ekosistem* [Ecosystem modeling]. Arkhangel'sk: AGTU, 2002, 112 p.
- [29] Pentel'kina N.V., Ivanyusheva G.I. *Vyrashchivaniye seyantsev berezy povisloy s ispol'zovaniem regulyatorov rosta* [Growing birch seedlings using growth regulators] *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2012, iss. 31, pp. 193–197.
- [30] Kabanova S.A., Kabanov A.N., Bortsov V.A. *Izuchenie assimilyatsionnogo apparata berezy povisloy v prigorodnykh lesakh g. Astany* [Studying the assimilation apparatus of birch hanging in the suburban forests of Astana city] *Sb. tr. konf. «Ekologo-ekonomicheskaya effektivnost' prirodopol'zovaniya na sovremennom etape razvitiya Zapadno-Sibirskogo regiona»* [Proceedings of the conference «Ecological and economic efficiency of environmental management at the present stage of development of the West-Siberian region»]. Omsk, Omsk State Pedagogical University, April 21, 2017, Ed. A.I. Grigoriev. Omsk: Omsk State Pedagogical University, 2017. p. 90–92.
- [31] Kabanova S.A., Danchenko M.A., Bortsov V.A. *Rezul'taty nablyudeniya za rostom i sokhrannost'yu peresazhennykh derev'ev berezy povisloy v zelenoy zone g. Astany* [The results of observations of the growth and preservation of transplanted birch trees in the green zone of Astana city]. *Ecology of urbanized territories*, 2018, no. 1, pp. 18–23.

Authors' information

Nakvasina Elena Nikolaevna — Dr. Sci (Agricultural), Professor, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Department of Forestry and Forest Inventory, e.nakvasina@narfu.ru

Nekrasova Alena Viktorovna — pg., Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Department of Forestry and Forest Inventory, a.v.nekrasova@narfu.ru

Prozherina Nadezhda Aleksandrovna — Cand. Sci (Biology), Senior researcher, N. Laverov Federal Center for Integrated Arctic Research, Laboratory of Population Ecology, pronad1@yandex.ru

Received 15.05.2018.

Accepted for publication 26.12.2018.

ТЕХНОЦЕНТРИЗМ И ЭКОЦЕНТРИЗМ В ЛАНДШАФТНОЙ АРХИТЕКТУРЕ XX–XXI ВЕКОВ

В.В. Дормидонтова

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

Рассмотрено развитие стилистических направлений в ландшафтной архитектуре XX–XXI вв. Прослежено становление минимализма и хай-тек. Выявляется, что и минимализм, и хай-тек используют новый тип пространственной организации, однако отражают различные отношения между человеком и природой. Новый тип пространственной организации выражается в открытых асимметричных, динамически уравновешенных полицентрических композициях, восходящих к живописным работам супрематистов. Хай-тек — проявление техноцентризма, он утверждает приоритет антропоцентризма, усиленного техническими достижениями. Главное в пространстве хай-тек — демонстрация технических достижений, высоких технологий или демонстрация ущемления ими природы, вплоть до имитации природных элементов искусственными материалами, что иногда оправдано ситуацией и композиционно выразительно. Это подтверждается рассматриваемыми примерами работ М. Шварц, В. Акончи и рядом объектов городского озеленения Мюнхена. Идеи минимализма, сформировавшиеся в начале XX в. под влиянием распространившегося учения социализма, а также теоретических и практических работ функционалистов, рационалистов и конструктивистов, в ландшафтной архитектуре воплотила Вильгельмина Рауш (Нидерланды), создав последовательность из 25 модельных садов, представивших целую палитру новых композиционных приемов. Минимализм А. Кохран и П. Уокера на рубеже XX–XXI вв., объединив идеи модернизма, функционализма и конструктивизма, отражает экоцентризм и проявляется в лаконичных функциональных планировочных решениях, минимально обрамляющих природные элементы и усиливающих их выразительность, контрастно сопоставляя фактуры природных и строительных материалов.

Ключевые слова: ландшафтная архитектура, минимализм, хай-тек, композиция, пространственная организация

Ссылка для цитирования: Дормидонтова В.В. Техноцентризм и экоцентризм в ландшафтной архитектуре XX–XXI веков // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 37–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-37-43

На протяжении XX в. в ландшафтной архитектуре постепенно произошло формирование новой системы композиционных приемов, посредством которых создается новый тип пространственной организации как частных садов, так и объектов городского озеленения. Новый тип пространственной организации выражается в открытых асимметричных, динамически уравновешенных полицентрических композициях, восходящих к живописным работам супрематистов. На его основе развиваются хай-тек и минимализм. Однако, используя один и тот же тип пространственной организации, минимализм и хай-тек отражают разные взаимоотношения человека и природы. Типология экологических воззрений рассматривается в работах В.И. Фалько [1–3].

Цель работы

Цель работы — рассмотреть развитие стилей минимализма и хай-тека в ландшафтной архитектуре XX–XXI вв.

Результаты и обсуждение

Хай-тек — проявление техноцентризма, он утверждает приоритет антропоцентризма, усиленного техническими достижениями. Главное в пространстве хай-тек — демонстрация технических достижений, высоких технологий или

демонстрация ущемления ими природы, вплоть до имитации природных элементов искусственными материалами.

Конфликт города и природы отражается практически во всех работах Марты Шварц. Решение крупномасштабного пространства площади городского центра Миннеаполиса является примером городского дизайна, вдохновленного природными формами, идеей экологизации пространства и характером окружающей архитектуры [4–9]. Большая часть площади замощена полосами разноцветного камня, что создает линейную подчеркнутость. Из мощения поднимается серия покрытых травой холмиков в форме слезы, призванных напомнить о геологических формах, характерных для Миннесоты (рис. 1, а). Холмики меняют свой облик в разные времена года. Весной некоторые из них покрыты белыми нарциссами, другие полосами голубой сциллы. Зимой сильные снегопады нейтрализуют их цвет, однако выявляют форму. Зеленые холмики вносят в городскую среду символическое напоминание и обозначение местного ландшафта [4].

Забавная, на первый взгляд, композиция не только носит ассоциативный характер, но является реакцией и отражением метро-ритмического архитектурного окружения. Линейное мощение площади отвечает преобладающим вер-

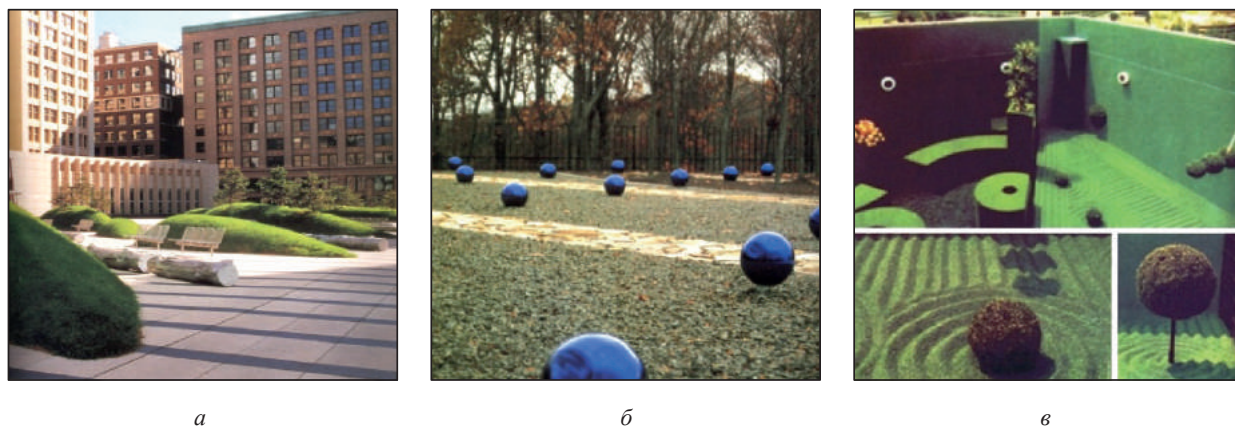


Рис. 1. Работы М. Шварц: *а* — Урбанистические холмики; *б* — Ландшафтный сад Центра инновационных технологий; *в* — Сплетенный сад
Fig. 1. Landscapes of M. Schwartz: *a* — Urban hills; *б* — Garden of the Innovative Technologies Centre; *в* — Spliced Garden

тикальным членениям зданий, а вырастающие из мощения холмики — своеобразный отклик на солнцезащитные ребра фасадов. Таким образом, все пространство подчиняется единой системе линейных урбанистических построений. Однако при восприятии сверху зеленые холмы динамичной формы, диагонально пересекая сильные параллельные линии мощения, «ползут прочь» из жестко регламентированного пространства. Направление «движения» холмов поддерживается линиями рядов скамей и бревен. Противоречивое пространство создает впечатление попытки подчинить неподчиняемое.

Тему «управления» природой продолжают «научные» ландшафты Марты Шварц [6–9]. Ландшафтный сад Центра инновационных технологий в Фэрфаксе в Вирджинии окружен офисными зданиями нерегулярных очертаний. Концепция заключалась в том, чтобы внести порядок в эти нерегулярные пространства. План был решен в виде террасы, относящейся к двум меньшим офисным зданиям и включающей рощицу из липы мелколистной. Рощица посажена в гравий темно-фиолетового цвета и мягко окаймлена с одной стороны плавной линией бордюра. Гравийное покрытие переплетается с полосами каменных дорожек случайного узора. Сверху положены ряды голубых отражающих шаров, которые частично отражают стекло окружающих офисных зданий, но также создают иллюзию цветущих под деревьями растений (рис. 1, *б*).

Простота идеи, исполнения и ухода, выразительность всех элементов обеспечивают экономичность и эстетичность. Несмотря на то, что проект выполнен для крупномасштабного офисного комплекса, использование природных материалов, особенно случайно нарезанного мощения, придает пространству человеческий масштаб.

Применение нетрадиционных материалов, имитирующих природные, также концептуально оправдано и художественно эффектно в Сплетенном саду в Институте биомедицинских исследований им. Уайтхеда в Кембридже, штат Массачусетс (рис. 1, *в*). Сплетенный сад разработан Мартой Шварц в 1986 г. и расположен на крыше 9-го этажа рядом с комнатой отдыха.

Фактически Сплетенный сад состоит из двух садов — Японского и Французского, казалось бы, случайных один по отношению к другому. Резкие очертания каждого пространства соединяются вдоль тонкой линии, которая продолжается вверх на ограничивающей сад стене. В Японском саду на зеленом аквариумном гравии граблями создан традиционный узор песка, а скалы и мох заменены пластиковыми шариками самшита.

На крышу обрушиваются сильные бостонские ветры, поэтому нельзя удержать на ней почву. Таким образом, живые растения были бы в этом месте весьма проблематичны, если не невозможны.

«Веселые эксперименты» Шварц, действительно, не бывают скучными. Изучая биологию, Шварц увлекалась манипуляцией ученых с генами. Поэтому, разрабатывая сад, ее мыслями руководило подразумеваемое сплетение генов.

В Японском саду она «высеивает склонность японских садоводов к чрезмерному упрощению, применяя безжизненные пластиковые кусты, накладывая обломки вульгарного потребления на бессмертные сады цивилизации» [7]. Во Французском саду она подчеркивает его искусственность, смешивая пластиковые растения разных климатических районов, включая папоротники, тюльпаны и т. д. Сплетающая линия выполнена из тяжелого стального желоба, заполненного красивым черным песком.

Эта неожиданная, радостная работа показывает способность Шварц организовать любое пространство с удивительной непредсказуемостью. Но вся эта «игра» была бы не столь эффектной, если бы не серьезная подоплека — подразумеваемая небезопасность последствий научной любознательности. Сплетенный сад стоит на грани науки и искусства [7]. «Замерзший маскарад синтетического сада — это иронический комментарий оптимистичного биологического исследования. Может ли генная манипуляция обмануть природу, и какова будет цена?».

Композиционным центром Кинетического сада или Двора ветра при городском Техническом центре в Мюнхене (архитектор Вито Акончи) является тор, на котором расположены скамьи, участок газона, растения, пересекаемый пешеходной дорожкой и вращающийся при помощи турбины, использующей энергию ветра (рис. 2) [10].

Использование искусственных материалов, имитирующих природные, иногда оправдано ситуацией и композиционно выразительно. Так, например, реконструируемый двор на Винер Платц в Мюнхене представлял собой пространство между офисным зданием и забором жилого, узкое и мало освещенное для посадки деревьев. Было найдено оригинальное решение: установлены прозрачные экраны с объемным изображением дерева в разные времена года. Между экранами организованы места для отдыха. Иллюзорные деревья соразмерны пространству и создают достаточную изолированность осевой последовательности рекреационных пространств (рис. 3).

Также свежо и выразительно воспринимается внутренний двор Госпиталя братьев милосердия в Мюнхене, крошечное пространство, воспринимаемое из окон, где вопреки ситуации жизнеутверждающе «взметнулось» вверх сочно-зеленое скульптурное растение (рис. 4).

Идеи минимализма сформировались еще в начале XX в. в результате бурного развития науки и техники, под влиянием распространившегося во второй половине XIX в. учения социализма, охватившего треть человечества, а также теоретических и практических работ функционалистов, рационалистов и конструктивистов. Социалистические воззрения художников, дизайнеров голландской группы «Стиль» (1917 г.), архитектурной школы Баухаус в Германии (1919 г.), советских школ ВХУТЕМАС и ВХУТЕИИ заключались в том, что художественное произведение должно быть разработано рационально, ясно, в «инженерной чистоте и конкретности», максимально выразительно при использовании минимальных средств и предельной выразительности материала. Эти принципы воплотила в ландшафтной архитектуре Вильгельмина (Мин) Рауш (Голландия), создав последова-



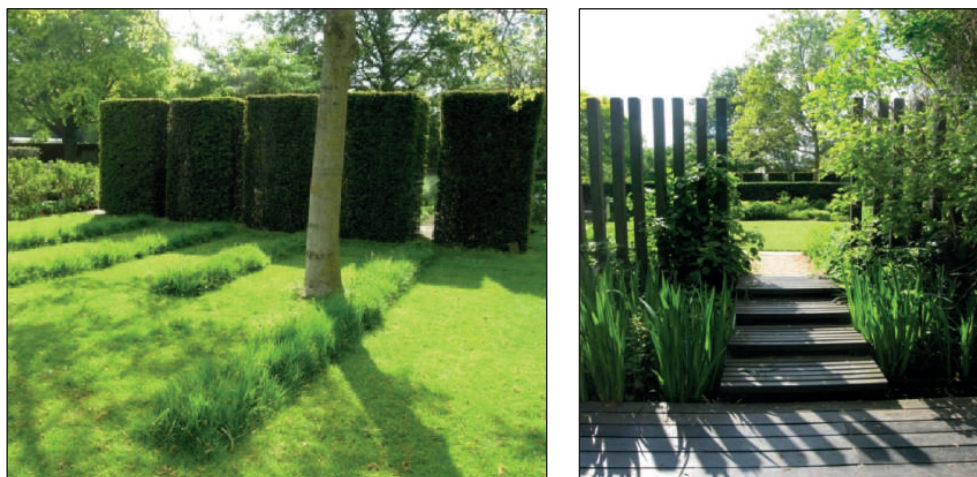
Рис. 2. В. Акончи. Двор ветра
Fig. 2. V. Aconchi. The Yard of the Wind



Рис. 3. Двор на Винер Платц, 7
Fig. 3. Inner Court on the Wiener Platz, 7



Рис. 4. Двор Госпиталя братьев милосердия
Fig. 4. Inner Court in the Hospital of Brothers of Charity

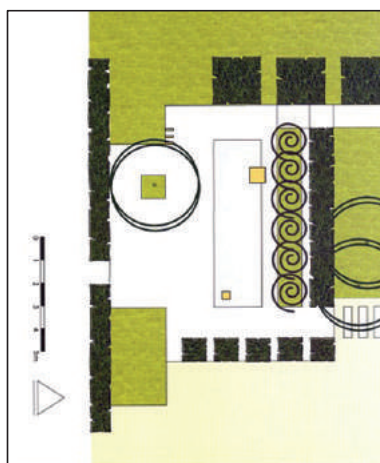


а

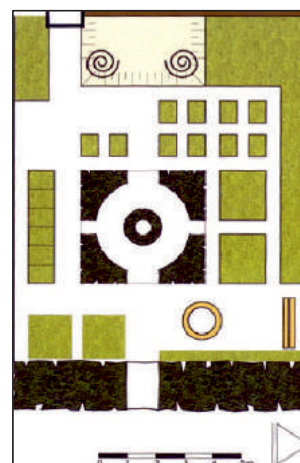
б



в



г



д

Рис. 5. Модельные сады Мин Рауш: а, б — виды; в, г, д — планы
 Fig. 5. Mien Ruysmodel gardens: а, б — views; в, г, д — plans

тельность из 25 модельных садов в королевском питомнике в Морхейме после Второй мировой войны. Они представляли целый арсенал новых композиционных приемов. Эти сады должны были содействовать бизнесу, как наглядная демонстрация возможных планировочных решений, а также выразительных устойчивых сообществ растений [11].

В 1943 г. Рауш присоединилась к группе архитекторов De 8 и Орбау, которая занимала позиции, близкие функционалистам. В результате под очевидным влиянием Пита Мондриана, Ван Дусбурга, Людвига Мисван дер Роэ и Кристофера Туннарда формировались ее лаконичные подчеркнуто архитектурные сады. Все эти сады экспериментальны по композиции, они — вариации на тему «достижения максимального эффекта минимальными средствами» при помощи целенаправленного использования свойств простых геометрических форм и способов их взаимодействия. Асимметричные планы по простоте и решитель-

ности напоминают композиции Мондриана. Они построены на сопряжении и наложении простых форм, взаимодействующих с диагональными линиями. Те же формы и приемы их взаимодействия используются и в пространственной композиции. Метрические ряды подобных вертикальных и горизонтальных плоскостей и форм демонстрируют выразительные возможности пластинообразной, точечной и линейной форм, обеспечивая взаимосвязь внутреннего и внешнего пространства.

В геометрические формы (пластинообразные, точечные, линейные) собраны даже травы и злаки. При этом используется и подчеркивается их фактура, пластичность, гибкость, естественный наклон. Пространственные садовые композиции строятся из ритмичных вертикальных и горизонтальных рядов подобных пластинообразных элементов с контрастным графичным включением линейных (рис. 5, а, б). В основе — лаконичные геометрические планировки, часто диагонального развития (рис. 5, в, г, д).

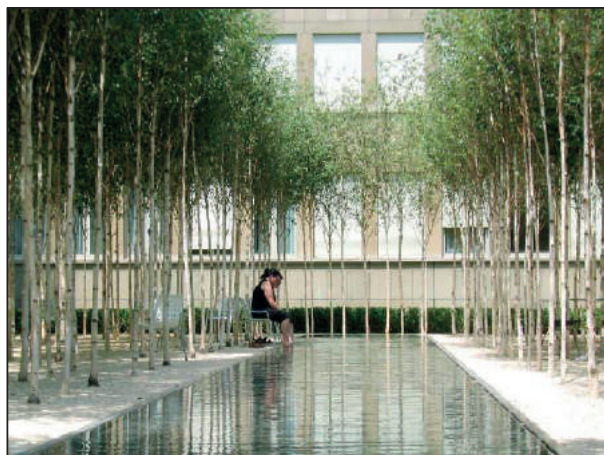


Рис. 6. П. Уокер. Внутренний двор здания Novartis
Fig. 6. P. Walker. Inner court of Novartis Headquarters

Из-за пристрастия Мин Рауш к диагонали, ее называли «диагональная Мин» [11]. Свободно перетекающие пространства легки и элегантны, все немногочисленные элементы композиции соразмерны и пропорциональны целому. Вертикальные стриженные стены растений разделяют пространства, но не замыкают их.

Социалистические воззрения Рауш воплотились в стремлении создать модели экономичных садов из недорогих материалов, не требующие специального ухода, функциональные в современных условиях. Соединение функционализма и натурализма на социалистической базе позволило модернистской форме обрести содержание, что сделало сады Мин Рауш не только эстетически выразительными, но и жизнеспособными.

Минимализм рубежа XX–XXI вв., объединив идеи модернизма, функционализма и конструктивизма, отражает экоцентризм и проявляется в лаконичных функциональных планировочных решениях, минимально обрамляющих природные элементы и усиливающих их выразительность, контрастно сопоставляя фактуры природных и строительных материалов.

Мастерское умение остро и акцентировано, по принципу дополнения, сочетать контрастные фактуры и текстуры материалов характеризует творческую манеру Питера Уокера (рис. 6) [12, 13].

Высокохудожественное владение материалом демонстрируют работы Андреа Кохран (рис. 7) [14, 15]. При геометричности планировок, лаконичности композиции и минимальном количестве элементов тонкое использование цвета, фактуры, силуэта, воздушной перспективы, контрастное противопоставление планов делают ее работы лиричными и живописными. В садах используется эффект двойного растворения. Выразительная пейзажная картина постепенно растворяется в перспективной панораме окружающего пейзажа на дальнем плане, а на переднем плане зеркаль-



Рис. 7. А. Кохран. Walden Studios
Fig. 7. A. Cochran. Walden Studios

ная поверхность водоема или мощения размывает ее отражение. Этот прием создает впечатление акварельности садовых композиций А. Кохран и отвечает творческому кредо фирмы: «Архитектура лепит и организует пространство путем бесшовного взаимопроникновения ландшафта, искусства и архитектуры. При помощи тщательно подобранной палитры материалов мы создаем проникающие границы — размытую до неразличимости грань между природным и рукотворным ландшафтом. Геометрия пространства, наложенная на пульсирующую жизнь растений, создает композиционную остроту. Решение задачи обустройства природы развивает чувство материала — текстуры, света и движения» [15].

Выводы

Хай-тек и минимализм используют одни и те же приемы пространственной организации, формируют лаконичные пространства и оперируют минимальными художественными средствами, при этом иногда достигают выразительности плаката или лозунга [16, 17]. Хай-тек уделяет большее внимание строительным и отделочным материалам, мощению; природные элементы играют роль малых форм или заменяются имитациями [18, 19]. Главное в композициях минимализма — сочетание фактур природных элементов [20]. Новый комплекс композиционных приемов позволяет организовать как небольшие частные сады, так и монументальные многофункциональные городские пространства.

Список литературы

- [1] Фалько В.И. Природа как субъективированный объект общения // Материалы XVIII Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века». БГУ, Минск, 17–18 мая 2018 г. / под общ. ред. С.А. Маскевича, С.С. Позняка. Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2018. С. 219.

- [2] Фалько В.И. Гипотеза неделимой непрерывности живой материи // *Материалы XVII Международной научной конференции «Сахаровские чтения 2017 года: экологические проблемы XXI века»*. БГУ, Минск, 18–19 мая 2017 г. / под общ. ред. С.А. Маскевича, С.С. Позняка. Минск: Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь, 2017. С. 305–306.
- [3] Фалько В.И., Лукманов Р.П. Проблема прав и субъектности природы // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2015. № 4. С. 75–83.
- [4] Bennett P. Dance of Drumlins // *Landscape architecture*, 1999, no. 8, p. 60.
- [5] 1999 ASLA Awards // *Landscape Architecture*, 1999, no. 10, p. 70.
- [6] Critique This // *Landscape architecture*, 1999, no. 12, p. 52.
- [7] Johnson J. The Spliced Garden // *Landscape Architecture*, 1988, v. 78, no. 5, p. 100.
- [8] Bradley-Hole C. The Minimalist Garden. London: Mitchell Beazley, 1999. 207 p.
- [9] Wilson A. Influential Gardeners. London: Mitchell Beazley, 2002. 192 p.
- [10] Baumeister N. New Landscape architecture. Berlin: Braun, 2007. 352 p.
- [11] Scholma A. Experiments with Plants and a Search for Form. A Walk Through the Mien Ruys Gardens. Amsterdam: Stichting Tuinen Mien Ruys, 2008. 144 p.
- [12] Brown Gillette J. The Rough and The Smooth // *Landscape Architecture*, 1998, no. 5, pp. 67–73, 102–107.
- [13] Martha Schwartz Partners. URL: <http://www.marthaschwartz.com/sowwah-square-abu-dhabi-uae/> (дата обращения 15.12.2011).
- [14] Шварц М. Только идеи могут запускать культурные процессы. URL: http://alaros.ru/news/marta_shvarc_tolko_idei_mogut_zapuskat_kulturnye_processy/2015-07-22-337 (дата обращения 15.12.2011).
- [15] Myers M. Andrea Cochran: Landscapes. New York: Princeton Architectural Press, 2009. 192 p.
- [16] Смирнова А.В., Ярош Т.С. Современные стили ландшафтной архитектуры // «Научное сообщество студентов XXI столетия. Технические науки»: Электронный сборник статей по материалам LX Студенческой международной научно-практической конференции. Новосибирск: АНС «СибАК», 2017. № 12 (59). С. 141–147. URL: [http://www.sibac.info/archive/Technic/12\(59\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/12(59).pdf) (дата обращения 07.10.2018).
- [17] Лысыков А. Сад в стиле хай-тек // Интернет журнал «Живой лес». URL: <http://givoyles.ru/articles/landshaftnyi-dizain/sad-v-stile-hai-tek/> (дата обращения 07.10.2018).
- [18] Три новых модели ландшафтных светильников компании ALFRESCO. URL: <http://tehne.com/event/novosti/tri-novyh-modeli-landshaftnyh-svetilnikov-kompanii-alfresco> (дата обращения 07.10.2018).
- [19] Емельянова О.Ю. Стиль хай-тек // *Professional*. URL: <http://proftula.ru/articles/185/34111/> (дата обращения 07.10.2018).
- [20] Возвышаева Т.И. Архитектура хай-тек: генезис, современное состояние: Автореф. дис. ... канд. архитектуры, 1989 г. URL: <http://www.dissercat.com/content/arkhitektura-khai-tek-genezis-sovremennoe-sostoyanie/proftula.ru/articles/185/34111/> (дата обращения 07.10.2018).

Сведения об авторе

Дормидонтова Виктория Владиславовна — канд. архитектуры, профессор, член Союза архитекторов России, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), v.dormidontova@mail.ru

Поступила в редакцию 18.10.2018.

Принята к публикации 19.11.2018.

TECHNOCENTRISM AND ECOCENTRISM IN THE LANDSCAPE ARCHITECTURE OF THE XX–XXI CENTURIES

V.V. Dormidontova

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

v.dormidontova@mail.ru

The development of the XX–XXI centuries landscape architecture stylistic trends is examined in the article. The Minimalism and High-Tech formation is traced. It is revealed that Minimalism and High-Tech use the new type of space organization, but reflect different relations between humanity and nature. The new type of space organization results in open asymmetric, dynamically balanced polycentric compositions, go back to the supremacist painting. High-Tech is a display of technocentrism; it approves the priority of an anthropocentrism, forced with technical achievements. The great in the space of the High-Tech is a demonstration of technical resources, high technologies or, on the contrary, restricting nature by the means of technique, even using artificial imitations of natural materials, sometimes contextually and expressively. It is shown on the examples of compositions of M. Schwartz, V. Aconchi and green squares of Munich. The minimalism ideas, born in the beginning of the XX c. under the influence of the socialism and theoretical and practical works of functionalists, rationalists and constructivists, were realized in landscape architecture by Wilhelmina Ruys (Netherlands), who created the sequence of 25 model gardens, represented vast palette of new compositional methods. Minimalism of A. Cochran and P. Walker via the XX–XXI centuries, having combined the ideas of modernism, functionalism and constructivism, now reflects ecocentrism and results in concise, functional master plans, minimal framing of natural elements, increasing its expressiveness, contrast comparison of natural and artificial materials.

Keywords: landscape architecture, Minimalism, High-Tech, composition, spatial organization

Suggested citation: Dormidontova V.V. *Tekhnotsentrizm i ekotsentrizm v landshaftnoy arkhitekture XX–XXI vekov* [Technocentrism and ecocentrism in the landscape architecture of the XX–XXI centuries]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 37–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-37-43

References

- [1] Fal'ko V.I. *Priroda kak sub'ektivirovannyi ob'ekt obshcheniya* [Nature as a subjective object of communication] Materialy 18-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sakharovskie chteniya 2018 goda: ekologicheskie problemy XXI veka» [Proceedings of the 18th international scientific conference «Sakharov Readings 2018: Environmental problems of the XXI century»]. BSU, Minsk, May 17–18, 2018. Ed. S.A. Maskevich, S.S. Pozniak. Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus, 2018, p. 219.
- [2] Fal'ko V.I. *Gipoteza nedelimoy nepreryvnosti zhivoy materii* [Hypothesis of indivisible continuity of living matter] Materialy 17-y mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Sakharovskie chteniya 2017 goda: ekologicheskie problemy XXI veka» [Proceedings of the 17th International Scientific Conference «Sakharov Readings 2017: Environmental Problems of the XXI Century.»] BSU, Minsk, May 18–19, 2017. Edited by S.A. Maskevich, S.S. Pozniak. Minsk: Information and Computing Center of the Ministry of Finance of the Republic of Belarus, 2017. pp. 305–306.
- [3] Fal'ko V.I., Lukmanov R.R. *Problema prav i sub'ektivnosti prirody* [The problem of the rights and subjectivity of nature] Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik, 2015, no. 4, pp. 75–83.
- [4] Bennett P. Dance of Drumlins. *Landscape architecture*, 1999, no. 8, 60.
- [5] 1999 ASLA Awards. *Landscape Architecture*, 1999, no. 10, p.70.
- [6] Critique This. *Landscape architecture*, 1999, no. 12, p. 52.
- [7] Johnson J. The Spliced Garden. *Landscape Architecture*, 1988, v. 78, no. 5, pp. 100.
- [8] Bradley-Hole C. *The Minimalist Garden*. London: Mitchell Beazley, 1999, 207 p.
- [9] Wilson A. *Influential Gardeners*. London: Mitchell Beazley, 2002, 192 p.
- [10] Baumeister N. *New Landscape Architecture*. Berlin: Braun, 2007, 352 p.
- [11] Scholma A. *Experiments With the Search for Form. A Walk Through the Mien Ruys Gardens*. Amsterdam: StichtingTuinen Mien Ruys, 2008, 144 p.
- [12] Brown Gillette J. The Rough And The Smooth. *Landscape Architecture*, 1998, no. 5, pp. 67–73, 102–107.
- [13] Martha Schwartz Partners URL: <http://www.marthaschwartz.com/sowwah-square-abu-dhabi-uae/> (accessed 12.15.2011).
- [14] Shvarts M. *Tol'ko idei mogut zapuskat' kul'turnye protsessy* [Only ideas can trigger cultural processes]. URL: http://alaros.ru/news/marta_shvarc_tolko_idei_mogut_zapuskat_kulturnye_processy/2015-07-22-337 (accessed 12.15.2011).
- [15] Myers M. Andrea Cochran: *Landscapes*. New York: Princeton Architectural Press, 2009, 192 p.
- [16] Smirnova A.V., Yarmosh T.S. *Sovremennye stili landshaftnoy arkhitektury* [Modern styles of landscape architecture] «Nauchnoe soobshchestvo studentov XXI stoletiya. Tekhnicheskie nauki»: Elektronnyy sbornik statey po materialam LX studentcheskoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [«Scientific community of students of the XXI century. Technical sciences»: Electronic collection of articles on the materials of the LX student international scientific-practical conference]. Novosibirsk: ANS «SibAK», 2017, no. 12 (59), pp. 141–147. URL: [http://www.sibac.info/archive/Technic/12\(59\).pdf](http://www.sibac.info/archive/Technic/12(59).pdf). (accessed 07.10.2018).
- [17] Lysikov A. *Sad v stile khay-tek* [A high-tech garden]. Internet zhurnal «Zhivoy les». URL: <http://givoyle.ru/articles/landshaftnyi-dizain/sad-v-stile-hai-tek/> (accessed 10.07.2018).
- [18] *Tri novykh modeli landshaftnykh svetil'nikov kompanii ALFRESCO* [Three new landscape lighting models by ALFRESCO]. URL: <http://tehne.com/event/novosti/tri-novykh-modeli-landshaftnykh-svetilnikov-kompanii-alfresco> (accessed 07.10.2018).
- [19] Emel'yanova O.Yu. *Stil' Khay-tek* [Hi-tech style] Professional. URL: <http://proftula.ru/articles/185/34111/> (accessed 07.10.2018).
- [20] Vozvyshaeva T.I. *Arkhitektura khay-tek: genesis, sovremennoe sostoyanie* [High-tech architecture: genesis, modern state] Author. dis. ... Cand. Architecture, 1989 URL: <http://www.dissercat.com/content/arkhitektura-khai-tek-genesis-sovremennoe-sostoyanie/> <http://proftula.ru/articles/185/34111/> (accessed 07.10.2018).

Author's information

Dormidontova Viktoriya Vladislavovna — Cand. Architecture, Professor, Member of the Union of Architects of Russian Federation, Professor of BMSTU (Mytishchi branch), v.dormidontova@mail.ru

Received 18.10.2018.

Accepted for publication 19.11.2018.

СТРУКТУРА ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ КВАРТАЛОВ ИСТОРИЧЕСКОЙ ЗАСТРОЙКИ ГОРОДА ЦХИНВАЛ (ЮЖНАЯ ОСЕТИЯ)

В.А. Леонова, З.Р. Джиоева

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

Приводится краткая информация о природной растительности города Цхинвал, об истории озеленения и своеобразии исторической застройки. Обосновывается необходимость изучения структуры древесной растительности и проведения инвентаризации насаждений. Рассмотрена методика исследований и приведены результаты оценки биологического состояния, названы причины его ослабления, а также проанализирован существующий ассортимент деревьев и кустарников. В результате проведенной инвентаризации проанализирована структура насаждений и впервые создан план древесной растительности кварталов исторической застройки города. Даны рекомендации по реконструкции древесных насаждений исследуемого объекта.

Ключевые слова: Цхинвал, кварталы исторической застройки, объекты культурного наследия, структура древесных насаждений, инвентаризация, древесно-кустарниковая растительность

Ссылка для цитирования: Леонова В.А., Джиоева З.Р. Структура древесных насаждений кварталов исторической застройки города Цхинвал (Южная Осетия) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 44–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-44-51

Цхинвал — это та часть центрального Кавказа, где на протяжении тысячелетий шел интенсивный цивилизационный диалог между востоком и западом, Россией и Кавказом, который подарил миру удивительные образцы духовной и материальной культуры... [1]

В настоящее время во всех городах России существует проблема реконструкции древесных насаждений, но она особенно актуальна для многострадальной столицы Южной Осетии, которая пережила военные события 2008 г., до нее войну 1992 г. и землетрясение 1991 г. [2]. Пережитые события отразились на состоянии памятников культурного наследия города. Поэтому отдел охраны памятников Министерства культуры Республики Южная Осетия провел большую работу по сбору материалов и паспортизации памятников культурного наследия, по проблемам архитектурной застройки и истории города [3].

После тяжелых разрушений Цхинвал постепенно возвращается к статусу «зеленого» города: высаживается большое количество деревьев, кустарников и цветов — это одно из приоритетных направлений работы администрации [4]. Последние три года отдел озеленения комбината благоустройства мэрии занимается благоустройством улиц, украшает город цветами (рис. 1): петунией, бархатцами и другими однолетниками [5].

Однако возвращение былого зеленого наряда столицы невозможно без реконструкции исторической части [6], в которой произрастают старые деревья советского периода, которые составляют основу системы озеленения города.



Рис. 1. Цветочное оформление центральной части города
Fig. 1. Flower decoration of the central part of the city

Система озеленения любого города создает комфортные условия для жизни и отдыха жителей. Древесные растения — достаточно крупные и долговечные элементы данной системы, наиболее эффективны как источники кислорода, фитонцидов, агенты оптимизации светового и температурного режимов [7].

Современные города являются центрами острейших экологических проблем, а постоянно меняющаяся структура городской застройки приводит к изменениям типа пространственной структуры насаждений. Данные проблемы особенно касаются исторических центров, где ча-



Рис. 2. «Еврейский квартал» в городе Цхинвал
Fig. 2. «The Jewish quarter» in the city of Tskhinval

сто страдает древесно-кустарниковая растительность, распадается ее структура и происходит ослабление биологического состояния, что все вместе приводит к потере декоративных качеств насаждений. Поэтому изучение структуры и динамики состояния деревьев и кустарников исторических ландшафтов городов всегда является актуальной проблемой.

Цель работы

Цель работы — изучить структуру и провести инвентаризацию древесных насаждений исторических кварталов застройки города Цхинвал.

История и географические особенности города

Цхинвал — столица Республики Южная Осетия. Город расположен на северной оконечности Внутреннекартлийской равнины, в предгорьях Большого Кавказа. Высота 880 метров над уровнем моря. Климат мягкий, вызревают инжир, миндаль, хурма. Окружающая растительность степная, из кустарников встречаются шиповник, ежевика, пираканта, держи-дерево; в городе и окрестностях созданы массивы древесных насаждений (дуб, сосна и другие) [8].

Характерной особенностью озелененных пространств Цхинвала является то, что они расходятся от поймы реки Большая Лиахви по городским улицам и проникают в жилые кварталы. Остатки исторических посадок еще сохранились по всему городу.

Многие жители города до сих пор помнят, что в 30-х годах на месте ул. М. Туганова был бульвар с рядовыми посадками лип, с верхним покрытием из битого кирпича, по которому горожане гуляли исключительно по воскресеньям. С 40-х годов шло активное озеленение города, для которого были характерны оригинальные приемы. Например, на газоне перед Домом Совета по ул. М. Туганова был устроен цветочный календарь. Каждое утро работники комбината благоустройства выкладывали горшечными цветами день недели.

При этом цифры и буквы достигали высоты в несколько метров, и все подъезжающие к Цхинвалу могли прочесть день недели.

Территорию перед Домом Правительства украшала самшитовая роща, перед Домом Советов была высажена ель колючая форма голубая, а в рядовых посадках улиц использовался платан восточный. В самом городе в озеленении широко был распространен кедр гималайский. Улица Сталина, которая сохранилась до сих пор, была обсажена декоративными кустарниками. В центре Цхинвала были разбиты аллеи и рукотворные водопады, по всему городу были разбросаны фонтанчики с купидонами. Парки украшали алебастровые пионеры с горнами и девушки с веслами, столь популярные по всему Советскому Союзу. От того периода остались только каменные мальчики перед гостиницей «Ирыстон» [9].

Но основу уникальности Цхинвала составлял национальный колорит и архитектурные контрасты города, которые создавали его неповторимый облик. Особенно его отличали национальные кварталы: «Осетинская слободка», «Еврейский квартал» (рис. 2), улицы Армянская и Грузинская. Центром была небольшая площадь с церковью Рождества Пресвятой Богородицы [10].

В настоящее время кварталы исторической застройки являются объектами культурного наследия федерального значения с выделенными охранными зонами [11].

Они расположены в восточной части города вблизи старого моста и были разрушены в ходе переменных войн с Грузией 1990–2008 гг. На сегодняшний день сохранилось несколько зданий и фрагменты стен. Во время восстановительных работ после войны 2008 г. были также разрушены и уничтожены старые здания историко-архитектурного значения [12].

На территории кварталов исторической застройки расположено множество историко-культурных и архитектурных памятников республиканского и местного значения, на территории

которых структура и состояние древесной растительности никогда не изучались. Например, древесные насаждения на территории сквера и церкви Рождества Пресвятой Богородицы или на территории Монумена всем погибшим в ходе осетино-грузинских войн. Последний объект оказался в центре города, и его внешний облик очень важен для восприятия города, понимания его истории и оценки всей системы озеленения.

Известно, что каждый тип ландшафта, включая городской, характеризуется своим набором свойств, отражающим облик и одновременно являющимся носителем эстетической ценности окружающего пространства, поэтому он подлежит оценке [13]. А в городских условиях фоном восприятия архитектурных сооружений и пространственной структуры является древесная растительность, которая высотой, размером и формой крон формирует зеленые объемы. Поэтому биологическое состояние деревьев и кустарников непосредственно влияет на декоративные признаки растений и качество зеленых пространств, которые очень важны при восприятии облика города [14].

Методика исследования

Инвентаризация насаждений проводилась по общепринятой методике Академии коммунального хозяйства им. К.Д. Памфилова по трехбалльной шкале с определением следующих показателей: диаметр ствола на высоте 1,3 м (для деревьев), диаметр кроны, высота растения и биологическое состояние, которое оценивалось визуально. Инвентаризационные номера присваивали каждому экземпляру древесных насаждений по мере их учета. Проводилась фотофиксация зеленых насаждений, их повреждений на стволах и в кроне [15, 16]. За основу были взяты три состояния зеленых насаждений: *хорошее состояние* — древесно-кустарниковая растительность без признаков ослабления; *удовлетворительное состояние* — древесно-кустарниковая растительность с признаками ослабления; *неудовлетворительное состояние* — древесно-кустарниковая растительность с сухими ветками более 30 %, включая сухостой текущего года, сухостой прошлых лет. В ходе инвентаризации отмечались типы посадок деревьев и кустарников, а также фиксировалась структура насаждений.

Результаты и обсуждение

Инвентаризация древесно-кустарниковой растительности была проведена в 2015 г. на территории объектов культурного наследия города Цхинвал. Был определен ассортимент существующих насаждений и проинвентаризировано 302 дерева и 97 кустарников.



Рис. 3. Диаграмма соотношения древесных и кустарниковых жизненных форм

Fig. 3. Diagram of tree and shrub life forms ratio

Древесно-кустарниковые растения представлены 28 видами: 23 видами деревьев (76 %) и 5 видами кустарников (24 %) (рис. 3).

Такое незначительное количество кустарников сохранилось из-за неблагоприятного воздействия антропогенных факторов центра города. А на кустарники, как известно, приходится основная нагрузка по снижению пыли, грязи и шума в городских условиях, и их основные санитарно-гигиенические показатели снижаются [17–20].

Ассортимент древесных растений в исторических кварталах наблюдается достаточно богатый (табл. 1). К самым распространенным четырем видам можно отнести липу кавказскую, платан восточный, тую западную и ель обыкновенную форму голубую, которые составляют 70 % от общего количества деревьев. Их возраст, в основном, около 65–95 лет.

К дополнительному ассортименту можно отнести 9 видов, которые занимают около 21 % всех видов, но больше половины из них приходится на сливу домашнюю, ясень обыкновенный и вишню обыкновенную (11 %). Десять видов встречаются в единичных экземплярах: смоковница (или инжир), кедр гималайский, клен остролистный, шелковица черная, тополь дельтовидный, сосна обыкновенная, вишня птичья, бук восточный, конский каштан обыкновенный. Плодовые виды представлены сливой, яблоней, вишней и занимают около 11 %.

Результаты инвентаризации деревьев представлены в таблице 2. Большинство деревьев находится в удовлетворительном состоянии (89 %), в хорошем — только 3,6 %; а 22 дерева требуют санитарной рубки. Корчевке подлежат 16 пней (5 % от общего количества деревьев).

К основным факторам снижения устойчивости древесных насаждений в кварталах исторической застройки следует отнести: наличие стволовых

Т а б л и ц а 1

**Анализ ассортимента древесной
растительности кварталов
исторической застройки**
Analysis of the range of wood vegetation areas
of historical building

№ п/п	Наименование пород	Количество, шт.	Количество, %
1	Липа кавказская (<i>Tilia dasystyla</i>)	68	21,66
2	Платан восточный (<i>Platanus orientalis</i>)	62	19,75
3	Туя западная (<i>Thuja occidentalis</i>)	51	16,24
4	Ель колючая ф. голубая (<i>Picea pungens</i> f. <i>glauca</i>)	40	12,74
5	Слива домашняя (<i>Prunus domestica</i>)	19	6,05
6	Ясень обыкновенный (<i>Fraxinus excelsior</i>)	10	3,18
7	Вишня обыкновенная (<i>Cerasus vulgaris</i>)	8	2,55
8	Клен платановидный (<i>Acer platanoides</i>)	6	1,91
9	Яблоня домашняя (<i>Malus domestica</i>)	5	1,59
10	Акация белая (<i>Caragana arborescens</i>)	4	1,26
11	Береза повислая (<i>Betula pendula</i>)	4	1,27
12	Софора японская (<i>Styphnolobium japonicum</i>)	4	1,27
13	Орех грецкий (<i>Juglans regia</i>)	4	1,27
14	Смоковница обыкновенная (<i>Ficus carica</i>)	3	0,96
15	Кедр гималайский (<i>Cedrus libani</i>)	3	0,96
16	Слива растопыренная (<i>Prunus cerasifera</i>)	2	0,64
17	Клен остролистный (<i>Acer platanoides</i>)	2	0,64
18	Шелковица черная (<i>Morus nigra</i>)	2	0,64
19	Тополь дельтовидный (<i>Populus deltoides</i>)	1	0,32
20	Сосна обыкновенная (<i>Pinus sylvestris</i>)	1	0,32
21	Вишня птичья (<i>Cerasus avium</i>)	1	0,32
22	Бук восточный (<i>Fagus orientalis</i>)	1	0,32
23	Конский каштан обыкновенный (<i>Aesculus castanum</i>)	1	0,32
24	Пни	16	5,10
Итого		318	100,0

Т а б л и ц а 2

**Состояние древесной растительности
кварталов исторической застройки**
Condition of wood vegetation of areas
of historical building

№ п/п	Состояние	Количество, шт.	Количество, %
1	Хорошее	11	3,6
2	Удовлетворительное	269	89,1
3	Неудовлетворительное	22	7,3
Итого		302	100,0

Т а б л и ц а 3

**Анализ ассортимента кустарниковой
растительности**
Analysis of the range of shrub by vegetation

№ п/п	Наименование пород	Количество, шт.	Количество, %
1	Виноград винный (<i>Vitis vinifera</i>)	54	55,67
2	Смородина золотистая (<i>Ribes aureum</i>)	33	34,02
3	Можжевельник казацкий (<i>Juniperus sabina</i>)	6	6,19
4	Самшит вечнозеленый (<i>Buxus sempervirens</i>)	3	3,09
5	Роза морщинистая (<i>Rosa rugosa</i>)	1	1,03
Итого		97	100,0

Т а б л и ц а 4

**Состояние кустарниковой растительности
кварталов исторической застройки**
Condition of shrubby vegetation in areas
of historical building

№ п/п	Состояние	Количество, шт.	Количество, %
1	Хорошее	14	14,4
2	Удовлетворительное	82	84,5
3	Неудовлетворительное	1	1,0
Итого		97	100,0

гнилей и морозобойных трещин, нарушения развития кроны, ее однобокость и механические повреждения ствола, усыхание ветвей. Встречаются механические повреждения ветвей под воздействием ветра (слом сучьев и крупных ветвей) и хозяйственной деятельности человека, когда нарушаются защитные покровы дерева. Гнили (как легко выявляемые, так и скрытые) нарушают метаболические и транспортные процессы в дереве, снижают механическую прочность стволов. Нередко внутренняя гниль разрушает дерево почти без видимых проявлений и служит причиной его внезапного падения.



Рис. 4. В центре фотографии хорошо просматриваются обрезанные и вновь сформированные кроны молодых платанов

Fig. 4. In the center of the photo it is well looked through the cut-off and again created kroner of young plane trees

Нарушение развития осевого побега в основном связано с ежегодной обрезкой крон деревьев, что также способствует снижению устойчивости и ухудшению состояния деревьев (рис. 4).

В таблице 3 представлен ассортимент кустарниковой растительности, который включает 97 кустарников 5 видов, но два из них (виноград винный и смородина золотистая) занимают около 90 % от общего количества, остальные встречаются в единичных экземплярах.

Подавляющее большинство кустарников (85 %) находится в удовлетворительном состоянии (табл. 4). В связи с формовочными и санитарными обрезками форма кустарников деформируется, и в условиях отсутствия ухода и подкормок они быстрее ослабевают и усыхают.

Структура древесных насаждений кварталов исторической застройки, в основном, представлена рядовыми посадками и группами платанов, елей, туй, ясеней и плодовых деревьев; среди кустарников наиболее часто встречаются живые изгороди и группы — данные типы посадок характерны для озеленения всех городов бывшего Советского Союза.

На основании полученных результатов был создан план инвентаризации существующей древесной растительности кварталов исторической застройки Цхинвала (рис. 5) и даны рекомендации по реконструкции насаждений:

– полученные результаты инвентаризации необходимо учитывать при реконструкции древесно-кустарниковых насаждений кварталов исторической застройки Цхинвала;

– для улучшения декоративного состояния деревьев и кустарников необходимо производить ежегодные санитарные рубки и полный комплекс мероприятий по уходу за деревьями и кустарниками, что будет способствовать повышению их устойчивости;

– необходимо сохранять существующий богатый древесный ассортимент кварталов исторической застройки и поддерживать его методом посадки, чтобы сохранить своеобразие объекта культурного наследия и подчеркнуть сформированный, но местами разрушенный архитектурный художественный образ;

– при реконструкции озелененных территорий кварталов исторической малоэтажной застройки Цхинвала, необходимо максимально использовать кустарниковую растительность, которая способствует улучшению санитарно-гигиенических показателей города и своими объемами не закрывает архитектурные сооружения;

– при реконструкции древесных насаждений исторического центра города рекомендуется максимально использовать декоративные низкорослые формы древесных растений, которые способствуют лучшему обзору памятников архитектуры и объектов культурного наследия.

Проведенные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Изучена структура существующих насаждений и проведена инвентаризация древесно-кустарниковой растительности на территории кварталов исторической застройки столицы Южной Осетии.

2. На основании полученных результатов создан план инвентаризации насаждений, произрастающих на территории кварталов исторической застройки города Цхинвал.

3. Составлены рекомендации по реконструкции древесных насаждений кварталов исторической застройки города.

Список литературы

- [1] Министерство культуры Республики Южная Осетия. Соглашение о сотрудничестве России и Южной Осетии. 26.10.2010 г. URL: <http://cominf.org/node/1166484965> (дата обращения 01.10.2018).
- [2] О визите в Цхинвал группы экспертов от Министерства культуры РФ. 2008 г. URL: <https://www.rsl.ru/ru/all-news/n544> (дата обращения 01.10.2018).
- [3] О проблемах культурного наследия Республики Южная Осетия. URL: <http://south-ossetia.info/respublika-yuzhnaya-osetiya-segodnya/kultura/> (дата обращения 01.10.2018).
- [4] Об озеленении города Цхинвала. 2016 г. URL: <http://cominf.org/node/1166508114> (дата обращения 01.10.2018).
- [5] Цветы для Цхинвала: петунии возвращаются в столицу. 2018 г. URL: https://sputnik-ossetia.ru/South_Ossetia/20180502/6308586.html (дата обращения 01.10.2018).
- [6] О сохранении, использовании и государственной охране объектов культурного наследия (памятников истории и культуры) народа Республики Северная Осетия-Алания. URL: <http://www.kavkaz-uzel.eu/articles/83188/> (дата обращения 01.10.2018).
- [7] Горохов В.А. Зеленая природа города. М.: Архитектура, 2012, 528 с.



Рис. 5. План инвентаризации древесной растительности города Цхинвал
 Fig. 5. The plan of inventory of wood vegetation in the city of Tskhinval

- [8] Природно-климатические условия г. Цхинвал. 2018 г. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Цхинвал> (дата обращения 01.10.2018).
- [9] Кулумбегов Р. Город Цхинвал во времени и в пространстве // Южная Осетия, 2017. № 107 (от 22.07.2017 г.).
- [10] Новые надежды старого города // Южная Осетия, 2014 (от 17.02.2014 г.).
- [11] Проект охранных зон объектов культурного наследия федерального значения, расположенные на территории

- Республики Северная Осетия-Алания. Постановление № 386 от 25 октября 2017 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/450383895> (дата обращения 01.10.2018).
- [12] Положение о едином государственном реестре объектов культурного наследия (памятников культуры истории) народа Республики Южная Осетия. URL: <http://osinform.org/34604-postanovlenie-pravitelstva-respubliki-yuzhnaya-osetiya.html> (дата обращения 01.10.2018).

- [13] Фурсова Л.М. Структура и методика исследований эстетической оценки лесопарковых территорий // Научные труды МЛТИ, 1981. С. 38–41.
- [14] Теодоронский В.С. О реконструкции зеленых насаждений в микрорайонах // Экология большого города. М.: Прима-Пресс, 1997. 98 с.
- [15] Фролов А.К. Растения городов как объект экологических исследований // Вестник Санкт-Петербургского университета. Сер. 3. Биология, 1993. С. 63–68.
- [16] Теодоронский В.С., Кабаева И.О. Реконструкция и формирование зеленых насаждений на территории жилой застройки. М.: МГУЛ, 2003. 96 с.
- [17] Джиоева З.Р. Анализ состояния объектов культурного наследия и древесных насаждений кварталов исторической застройки г. Цхинвал Южной Осетии // Вопросы ландшафтной архитектуры, 2016. Вып. 383. С. 15–17.
- [18] Габаев В. Очарование природой // Гос. инф. агентство «Рес». 18.02.2012 г. URL: <http://cominf.org/node/1166495931/> (дата обращения 01.10.2018).
- [19] «Красная книга» о флоре и фауне РЮО. URL: <http://osinform.org/36042-krasnaya-kniga-o-flore-i-faune-ryuo.html/> (дата обращения 01.10.2018).
- [20] Природа Республики Южная Осетия. URL: <https://www.google.ru/search/> (дата обращения 01.10.2018).

Сведения об авторах

Леонова Валентина Алексеевна — канд. с.-х. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), leonovava@bk.ru

Джиоева Зарина Роиновна — генеральный директор ООО «Экспо Холдинг», gudzhoievazarinka@mail.ru

Поступила в редакцию 17.04.2018.

Принята к публикации 30.11.2018.

CULTURAL HERITAGE OBJECTS OF GARDENING FEATURES AND AREAS WITH HISTORICAL BUILDINGS OF THE CITY OF TSKHINVAL (SOUTH OSSETIA)

V.A. Leonova, Z.R. Dzhioeva

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

leonovava@bk.ru

Summary of natural vegetation of the city of Tskhinval, the history of gardening and peculiarities of historical buildings is given in the article. It justifies the need to study the structure of woody vegetation and the inventory of plantations. The research methodology is considered and the results of the assessment of the biological state are presented, the reasons for its weakening are named, and the existing assortment of trees and shrubs is analyzed. As a result of the inventory, the structure of plantings was analyzed and for the first time a plan of tree vegetation was created for the city's historic buildings. Recommendations on the reconstruction of tree plantations of the object under study are given.

Keywords: Tskhinval, areas of historical building, objects of cultural heritage, structure of wood plantings, inventory, wood and shrubby vegetation

Suggested citation: Leonova V.A., Dzhioeva Z.R. *Struktura drevesnykh nasazhdeniy kvartalov istoricheskoy zastroyki goroda Tskhinval (Yuzhnaya Osetiya)* [Cultural heritage objects of gardening features and areas with historical buildings of the city of Tskhinval (South Ossetia)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 44–51. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-44-51

References

- [1] *Ministerstvo kul'tury Respubliki Yuzhnaya Osetiya. Soglasenie o sotrudnichestve Rossii i Yuzhnoy Osetii. 26.10.2010 g.* [The Ministry of Culture of the Republic of South Ossetia. Agreement on cooperation between Russia and South Ossetia. 10.26.2010]. URL: <http://cominf.org/node/1166484965> (accessed 01.10.2018).
- [2] *O vizite v Tskhinval gruppy ekspertov ot Ministerstva kul'tury RF. 2008 g.* [About the visit to Tskhinval of a group of experts from the Ministry of Culture of the Russian Federation. 2008]. URL: <https://www.rsl.ru/ru/all-news/n544> (accessed 01.10.2018).
- [3] *O problemakh kul'turnogo naslediya Respubliki Yuzhnaya Osetiya* [On the problems of the cultural heritage of the Republic of South Ossetia]. URL: <http://south-ossetia.info/respublika-yuzhnaya-ossetiya-segodnya/kultura/> (accessed 01.10.2018).
- [4] *Ob ozelenenii goroda Tskhinvala. 2016 g.* [On the landscaping of the city of Tskhinval. 2016]. URL: <http://cominf.org/node/1166508114> (accessed 01.10.2018).
- [5] *Tsvety dlya Tskhinvala: petunii vozvrashchayutsya v stolitsu. 2018 g.* [Flowers for Tskhinval: petunias return to the capital. 2018]. URL: https://sputnik-ossetia.ru/South_Ossetia/20180502/6308586.html (accessed 01.10.2018).

- [6] *O sokhranenii, ispol'zovanii i gosudarstvennoy okhrane ob'ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov istorii i kul'tury) naroda Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya* [On the preservation, use and state protection of cultural heritage objects (historical and cultural monuments) of the people of the Republic of North Ossetia-Alania]. URL: <http://www.kavkaz-uzel.eu/articles/83188/> (accessed 01.10.2018).
- [7] Gorokhov V.A. *Zelenaya priroda goroda* [The green nature of the city]. Moscow: Architecture, 2012, 528 p.
- [8] *Prirodno-klimaticheskie usloviya g. Tskhinval. 2018 g.* [Natural and climatic conditions of Tskhinval. 2018]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Tskhinval> (accessed 01.10.2018).
- [9] Kulumbegov R. *Gorod Tskhinval vo vremeni i v prostranstve* [The city of Tskhinval in time and space]. Yuzhnaya Osetiya, 2017, no. 107. (accessed 07.22.2017).
- [10] *Novye nadezhdy starogo goroda* [New hopes of the old city] Yuzhnaya Osetiya, 2014 (accessed 17.02. 2014).
- [11] *Proekt okhrannykh zon ob'ektov kul'turnogo naslediya Federal'nogo znacheniya, raspolozhennyye na territorii Respubliki Severnaya Osetiya-Alaniya. Postanovlenie ot 25 oktyabrya 2017 g., № 386* [The project of protected zones of cultural heritage objects of Federal significance, located on the territory of the Republic of North Ossetia-Alania. Ordinance of October 25, 2017, No. 386.]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/450383895> (accessed 01.10.2018).
- [12] *Polozhenie o edinom gosudarstvennom reestre ob'ektov kul'turnogo naslediya (pamyatnikov kul'tury istorii) naroda Respubliki Yuzhnaya Osetiya* [Regulations on the Unified State Register of Cultural Heritage Objects (Historical Culture Monuments) of the People of the Republic of South Ossetia]. URL: <http://osinform.org/34604-postanovlenie-pravitelstva-respubliki-yuzhnaya-osetiya.html> (accessed 01.10.2018).
- [13] Fursova L.M. *Struktura i metodika issledovaniy esteticheskoy otsenki lesoparkovykh territoriy* [The structure and methodology of research of the aesthetic assessment of forest-park areas]. Scientific Works of the MLTI, 1981, pp. 38–41.
- [14] Teodoronskiy V.S. *O rekonstruktsii zelenykh nasazhdeniy v mikrorayonakh* [On the reconstruction of green spaces in neighborhoods]. Ecology of the big city. Moscow: Prima-Press, 1997, 98 p.
- [15] Frolov A.K. *Rasteniya gorodov kak ob'ekt ekologicheskikh issledovaniy* [Plants of cities as an object of ecological research]. Vestnik Sankt-Peterburgskogo universiteta [Bulletin of St. Petersburg University], 1993, v. 3, Biology, pp. 63–68.
- [16] Teodoronskiy V.S., Kabaeva I.O. *Rekonstruktsiya i formirovaniye zelenykh nasazhdeniy na territorii zhiloy zastroyki* [Reconstruction and the formation of green spaces in the residential area]. Moscow: MGUL, 2003, 96 p.
- [17] Dzhioeva Z.R. *Analiz sostoyaniya ob'ektov kul'turnogo naslediya i drevesnykh nasazhdeniy kvartalov istoricheskoy zastroyki g. Tskhinval Yuzhnoy Osetii* [Analysis of the status of cultural heritage sites and tree plantations of historic buildings in the city of Tskhinval South Ossetia]. Voprosy landshaftnoy arkhitektury [Landscape Architecture Issues], 2016, iss. 383, pp. 15–17.
- [18] Gabaev V. *Ocharovanie prirody* [Charm of nature]. State. Inf. Agency «Res». February 18, 2012. URL: <http://cominf.org/node/1166495931/> (accessed 01.10.2018)
- [19] *«Krasnaya kniga» o flore i faune RYuO* [«Red Book» about the flora and fauna of the Republic of South Ossetia]. URL: <http://osinform.org/36042-krasnaya-kniga-o-flore-i-faune-ryuo.html/> (accessed 01.10.2018)
- [20] *Priroda Respubliki Yuzhnaya Osetiya* [Nature of the Republic of South Ossetia]. URL: <https://www.google.com/search/> (accessed 10.01.2018).

Authors' information

Leonova Valentina Alekseevna — Cand. Sci. (Agriculture), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), leonovava@bk.ru

Dzhioeva Zarina Roinovna — the CEO of LLC «Expo Holding», rudzhioevazarinka@mail.ru

Received 17.04.2018.

Accepted for publication 30.11.2018.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТРЕЛЕВОЧНОЙ СИСТЕМЫ С ОТТАИВАЮЩИМ ПОЧВОГРУНТОМ

С.Е. Рудов¹, В.Я. Шапиро², И.В. Григорьев³, О.А. Куницкая³, О.И. Григорьева²

¹Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного, 194064, г. Санкт-Петербург, К-64, Тихорецкий проспект, д. 3

²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5

³Якутская государственная сельскохозяйственная академия, 677007, г. Якутск, ш. Сергеляхское, 3 км, д. 3

shapiro54vlad@mail.ru

Проведение лесозаготовительных работ в районах Крайнего Севера характеризуется крайне сложными климатическими условиями. Эксплуатация трелевочных систем применительно к мерзлым почвогрунтам обуславливает необходимость учета его как многокомпонентной сложной среды. Необходимость минимизации техногенной нагрузки на окружающую среду выдвигает проблему оптимизации числа проходов трелевочной системы по одному и тому же волоку в разряд наиболее актуальных. Процесс образования колеи движителем лесной машины обладает рядом особенностей во время выполнения лесосечных работ в условиях мерзлых и оттаивающих грунтов, т. е. в бывших мерзлых грунтах, находящихся при положительной температуре. При оттаивании мерзлого грунта происходит перенасыщение его водой, в связи с чем существенно ослабевают природные связи между твердыми частицами и физико-механические свойства утрачивают исходные значения. При этом на границе оттаивания силы сцепления грунта снижаются. Интенсивность этого снижения зависит от исходной влажности грунта. В статье рассмотрено взаимодействие движителя колесного форвардера с оттаивающим почвогрунтом с позиций механики контактного разрушения, исходя из цикличности воздействия трелевочной системы на мерзлый и оттаивающий грунты, когда перед вторым проходом форвардера, по окончании определенного периода времени, необходимо учитывать новое состояние почвогрунта, существенно отличное от того состояния, в ходе которого происходила реализация первого прохода. Научные положения и результаты выполненных исследований создают предпосылки для адекватной оценки параметров этих процессов.

Ключевые слова: мерзлые почвогрунты, лесозаготовки, трелевочные системы, уплотнение и деформация почвогрунтов

Ссылка для цитирования: Рудов С.Е., Шапиро В.Я., Григорьев И.В., Куницкая О.А., Григорьева О.И. Особенности взаимодействия трелевочной системы с оттаивающим почвогрунтом // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 52–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-52-61

При обосновании эффективных условий эксплуатации современных трелевочных систем, в частности, на базе колесных форвардеров, на первый план выходят вопросы оценки их проходимости и производительности, а также экологической безопасности, исходя из конкретных природно-производственных условий [1–3]. В последние два десятилетия вопросам совместимости лесных машин с почвогрунтами лесосек, прогнозированию их проходимости посвящено большое количество теоретических [4, 5], конструкторских [6–9], экспериментальных [10] исследований и разработок.

Отдельно надо выделить испытания заболоченных почвогрунтов методом конусного индекса [11, 12], которые позволили существенно развить направления исследований, связанные с лесными машинами и почвогрунтами лесосек.

Но работ, посвященных изучению взаимодействия лесных машин с мерзлыми почвогрунтами практически нет ни в отечественной, ни в зарубежной литературе.

Цель работы

Цель работы — рассмотреть взаимодействие колесного форвардера с оттаивающим почвогрунтом.

Материалы и методы

В работе [13] установлен ряд наиболее существенных ограничений по параметрам: а) грузоподъемности машины; б) касательной силы тяги машины, т. е. сопротивление перемещения машины не должно превышать максимальное тяговое усилие форвардера; в) сцепления движителя с грунтом, т. е. касательная сила тяги не должна превышать силу сцепления движителя с поверхностью почвогрунта. Приводятся рекомендации по ограничению веса трелевочной машины с грузом, исходя из допустимой глубины колеи после первого прохода машины. Так, например, считается, что максимально допустимая глубина колеи после первого прохода форвардера не должна превышать 0,10 м.

Погружение колеса в почвогрунт вызывает сопротивление движению, т. е. предопределяет силу, препятствующую движению колеса вперед. Горизонтальное усилие подачи можно использовать для того, чтобы преодолеть усилие сопротивления движению и выработать необходимую тягу. Максимальная тяга, как особого рода сила поверхностного трения, зависит от величины предела сопротивления грунта на сдвиг τ .

Трелевочная система образует колею и в ее непосредственной близости — определенную зону контакта колеса с грунтом. Чем больше размер этой зоны, тем большие усилия передаются на почву для реализации необходимой тяги. Указанные процессы и явления обладают рядом особенностей во время выполнения лесосечных работ в условиях мерзлых и оттаивающих грунтов, т. е. в бывших мерзлых грунтах, находящихся при положительной температуре.

При оттаивании мерзлого грунта происходит перенасыщение его водой, в связи с чем существенно ослабевают природные связи между твердыми частицами и физико-механические свойства утрачивают исходные значения. При этом на границе оттаивания силы сцепления грунта снижаются. Интенсивность этого снижения зависит от исходной влажности грунта.

Будем считать, что глубина зоны оттаивания — H (м). За ее пределами мерзлый грунт представляет собой весьма твердое основание, поскольку упругопластические и прочностные характеристики мерзлого грунта кратно, а в ряде случаев на порядок превосходят аналогичные характеристики для талых или оттаивающих грунтов.

Слой оттаивающего грунта характеризуется повышенной влажностью. По данным [14] с увеличением общей влажности грунта W_0 происходит снижение величины сцепления C (кПа) и угла внутреннего трения ϕ (град), что при конкретном вертикальном давлении q на грунт, создаваемым форвардером, в соответствии с законом Кулона — Мора ($\tau = q \operatorname{tg}(\phi) + C$) окажет соответствующее влияние на предельное значение τ .

Результаты и обсуждение

Для ряда грунтов указанные закономерности изменения прочности по мере увеличения влажности сведены в табл. 1.

В табл. 2 приведены характеристики некоторых форвардеров с указанием достигаемых начальных значений q под колесными парами (штампами).

Как видим, использование восьми- — десятиколесных трелевочных систем при нагрузке $P = 19-20$ т создает давление на грунт равным $q = 35$ кПа, что практически в 2 раза меньше значений соответствующего давления при использовании четырех- — шестиколесных систем. При эксплуатации на слабонесущих грунтах применение гусениц позволяет снизить величину q до 27 кПа, однако подобные устройства приводят к дополнительным материальным и трудовым затратам.

Основываясь на данных табл. 1 и 2, на рис. 1 приведены графики зависимости τ от W_0 для оттаивающей супеси при трех значениях вертикального давления q .

Т а б л и ц а 1
Характеристики слоев оттаивающего грунта и на границе оттаивания

Characteristics of thawing soil layers and at the boundary of thawing

Грунт	Общая влажность грунта $W_0, \%$	Оттаивающий грунт		На границе оттаивания	
		C	ϕ	C	ϕ
Песок	8	10	34	2	30
	17	8	32	1	28
	32	4	23	0	17
Супесь	15	21	19	16	17
	17	14	17	8	15
	23	7	16	5	11
Суглинок	15	20	24	16	22
	20	17	21	12	18
	28	8	17	4	12
Глина	20	30	15	22	16
	29	20	13	14	12
	44	11	12	6	10

Т а б л и ц а 2
Характеристики трелевочных систем и давление их на грунт
Characteristics of skidders and their pressure on the ground

Трелевочная система	Вес $P, \text{ т}$	Вертикальное давление $q, \text{ кПа}$	
		штамп 1 / число колесных пар	штамп 2 / число колесных пар
Четырехколесная	15	68 / 1	80 / 1
Шестиколесная	16	72 / 1	27 / 2
Восьмиколесная	19	35 / 2	58 / 2
Десятиколесная	20	35 / 2	37 / 3

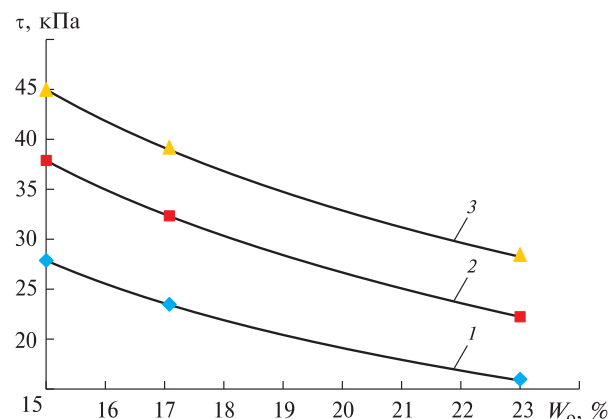


Рис. 1. Зависимость величины предела сопротивления на сдвиг от влажности грунта при значении вертикального давления: 1 — $q = 27$ кПа; 2 — $q = 8$ кПа; 3 — $q = 80$ кПа
Fig. 1. Dependence of the magnitude of the shear resistance limit on the soil moisture at the value of the vertical pressure: 1 — $q = 27$ kPa; 2 — $q = 8$ kPa; 3 — $q = 80$ kPa

Как следует из анализа данных рис. 1, по мере снижения внешнего давления на грунт растет степень зависимости величины τ от влажности (увеличивается абсолютное значение показателя степени в соответствующей степенной функции).

Рассмотрим схему взаимодействия форвардера с оттаивающим почвогрунтом с позиций механики контактного разрушения и будем считать воздействие колеса радиусом R (м) как действие круглого штампа (индентора).

Под действием суммарной нагрузки P на поверхности почвогрунта образуется контактная площадка радиусом a (м), с площадью контакта $s = \pi a^2$ и глубиной контактного сближения (потенциальная глубина первичной колеи в случае выполнения критерия разрушения), равной $h = h_0$.

Основываясь на положениях [15], параметры a и h_0 определим как

$$a = \sqrt[3]{\frac{3P(1-\nu^2)R}{4E}}; h_0 = \frac{a^2}{R}, \quad (1)$$

где E — модуль общей деформации, кПа,
 ν — коэффициент Пуассона.

Таким образом, параметры a и h_0 зависят от суммарного веса трелевочной системы, характерного размера колеса и упругопластических свойств почвогрунта, в первую очередь величины E и коэффициента Пуассона ν .

Предварительные оценки возможных значений a и h_0 заполняют диапазон $a = 0,093-0,195$ м и $h_0 = 0,019-0,084$ м при изменении E от 900 до 5000 кПа, ν от 0,15 до 0,45, P от 15 до 20 т при постоянном $R = 0,45$ м.

Диапазон изменения величины h_0 свидетельствует о том, что этот параметр ограничен сверху значением 0,1 м, что удовлетворяет условиям эффективного использования форвардеров. Однако процесс разрушения оттаивающего почвогрунта может выйти за границы величины h_0 и практически достичь контакта с мерзлым грунтом.

В результате исследований [13] установлена корреляционная связь между величиной E (МПа) и глубиной H (м) твердого основания в виде степенной функции $H = 0,4714E^{-0,479}$.

При изменении E от 0,9 до 5 МПа величина H изменяется от 0,22 до 0,5 м, т. е. можно заключить, что зона оттаивающего почвогрунта глубиной, равной $h = h_1 = H - h_0 = 0,13-0,48$ м, представляет особый интерес с позиций процесса разрушения и возможного углубления колеи.

При этом необходимо отметить, что давление на оттаивающий почвогрунт, содержащий достаточное количество воды, в пределах зоны h_0 усилит процесс фильтрации воды и рост влажности в пределах зоны h_1 , что обусловит дополнительное снижение как предела прочности почвогрунта на сдвиг τ , так и величину модуля деформации E , тем самым предопределив возможное дополнительное углубление колеи вплоть до границы с мерзлым грунтом, т. е. обеспечит выполнение условия $h = H$.

В осесимметричной постановке при переходе от декартовых x, y, z координат к цилиндрическим координатам h, r , где h — вертикальная, $r = \sqrt{x^2 + y^2}$ — радиальная (горизонтальная) координаты, вертикальное давление q_h можно определить как [15]

$$q_h = q \left(\frac{h}{\sqrt{u}} \right)^3 \frac{ua^2}{u^2 + a^2h^2}, \quad (2)$$

где u — положительный корень квадратного уравнения:

$$\frac{r^2}{(a^2 + u)} + \frac{h^2}{u} = 1. \quad (3)$$

Если оценивать процесс деформации почвогрунта строго под штампом ($r = 0$), то величины вертикального и горизонтального давлений — соответственно q_h и τ_h на текущей глубине h можно определить из соотношений

$$q_h = \frac{q}{1 + (h/\alpha)^2}; \tau_h = \alpha q_h, \quad (4)$$

где α — коэффициент бокового распора, равный $\alpha = \frac{\nu}{1-\nu}$.

Тогда глубина h_τ , на которой выполняется критерий разрушения $\tau_h \geq \tau$, определяется из соотношения

$$h_\tau = a \sqrt{\frac{\alpha q}{\tau} - 1}, \quad (5)$$

т. е. h_τ зависит от начального давления на почвогрунт, упругопластических и прочностных свойств почвогрунта, его влажности и радиуса колеса форвардера. Величина $\Delta h = h_\tau - h_0$ определяет, таким образом, глубину возможного дополнительного увеличения колеи.

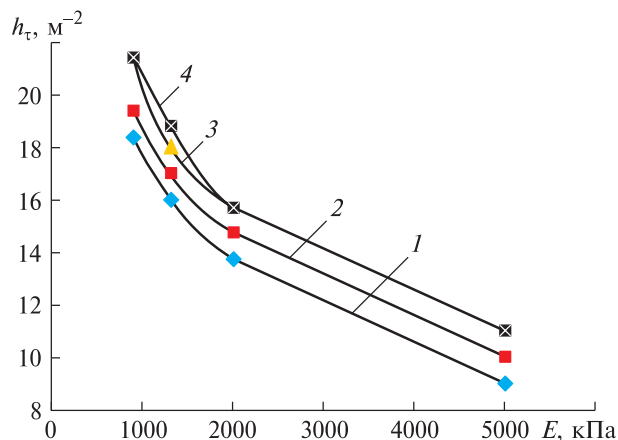


Рис. 2. Зависимость глубины колеи от модуля деформации с учетом начального давления на почвогрунт: 1 — $q = 27$ кПа; 2 — $q = 35$ кПа; 3 — $q = 58$ кПа; 4 — $q = 80$ кПа

Fig. 2. The dependence of the depth of the gauge on the strain modulus, taking into account the initial pressure on the soil: 1 — $q = 27$ kPa; 2 — $q = 35$ kPa; 3 — $q = 58$ kPa; 4 — $q = 80$ kPa

На рис. 2 представлены зависимости h_t от E для четырех возможных значений начального давления на грунт при фиксированных $W_o = 35 \%$, $\nu = 0,35$ и $R = 0,45$ м.

Как видно, расчетная глубина колеи в почвогрунтах с такими высокими показателями влажности только при низких давлениях не выходит за пределы 0,1 м в достаточно прочных грунтах с высокими значениями модуля деформации E ($E > 4$ МПа).

Однако при таких оценках не учтены факторы повышения влажности и, соответственно, снижения прочности в пределах глубины Δh за счет фильтрационных процессов, что обусловит более жесткие требования по ограничению внешнего давления на почвогрунт.

Рассмотрим модель Дарси линейной фильтрации жидкости под действием вертикального давления q вертикально вниз в направлении h

$$v_h = -\frac{k \partial q}{\gamma \partial h}, \quad (6)$$

где k — коэффициент фильтрации, м/сек,
 γ — удельный вес жидкости.

В качестве частной производной $\frac{\partial q}{\partial h}$ примем отношение перепада давления (величина отрицательная) на участке h_0 к размеру самого участка.

Тогда за 1 единицу времени (сек) объем жидкости $V_{ж}$ в пределах площади пятна контакта s переместится вниз за пределы h_0 и составит

$$V_{ж} = -\frac{\pi k \partial q}{\gamma \partial h} \alpha^2 \frac{1}{1 + h_0 / \alpha}. \quad (7)$$

Отнеся объем $V_{ж}$ к общему объему воды V_o в зоне грунта глубиной h_1 ($V_o = \pi W_o \gamma \alpha^2 h_1$), получим величину λ (%) дополнительного объема жидкости, поступающей в почвогрунт из зоны контактного сближения глубиной h_0 в зону притока воды глубиной h_1 .

Значения коэффициента фильтрации в соответствии с ГОСТ 25100–2011 «Грунты. Классификация» принимаем по данным табл. 3.

Как показывают расчеты параметры q и E существенно влияют на показатель λ .

Т а б л и ц а 3

Коэффициент фильтрации грунтов
 Soil filtration coefficient

Наименование грунта	Коэффициент фильтрации, м/с
Песок:	
пылеватый	$(0,6-6)10^{-5}$
мелкозернистый	$(1,2-3)10^{-4}$
среднезернистый	$(2,5-6)10^{-4}$
крупнозернистый	$(4-8,5)10^{-4}$
Супесь	$(0,1-1,2)10^{-5}$
Суглинок	$(0,05-0,5)10^{-5}$
Глина	$<10^{-5}$

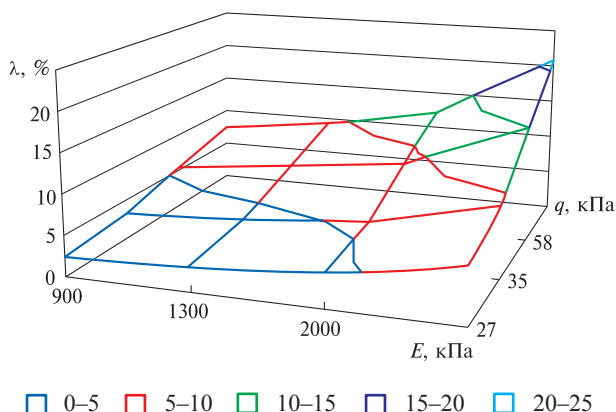


Рис. 3. Влияние модуля деформации и начального давления на процесс приращения жидкости за пределами зоны контакта

Fig. 3. Effect of strain modulus and initial pressure on the process of fluid increment outside the contact zone

На рис. 3 представлен график двумерной функции $\lambda(E, q)$ зависимости λ от E и q . Расчеты выполнены для супеси с минимальным значением параметра скорости фильтрации $k = 10^{-6}$ м/с и фиксированными $W_o = 35 \%$, $\nu = 0,35$ и $R = 0,45$ м.

Из анализа данных рис. 3 можно заключить, что в основном диапазоне изменения параметров E и q (в 60–70 % случаях) величина λ не превышает 10 %, что не окажет существенного влияния на увеличение влажности почвогрунта и характер протекания процесса его деформирования под действием штампов.

Однако с ростом E до 2000 кПа и более и давлением q , превышающим 58 кПа, объемный прирост жидкости существенно превышает 10 %, достигая диапазона значений 15–20 %, что приводит к росту общей влажности W_o на 5–10 %. Это обусловит снижение показателя прочности грунта на сдвиг и увеличит вероятность дополнительного углубления колеи.

Если пренебречь процентной долей воды, находящейся в парообразном состоянии (тысячные доли процентов от общего объема), то схематично можно сказать, что вода в жидкой фазе содержится в почвогрунте в двух основных состояниях: связанном и свободном.

Связанная высокоплотная (до 1200–1400 кг/м³) вода, занимающая до 40 % и более от общего объема, под действием статических нагрузок практически не уплотняется. Градиент ее перемещения — в направлении действия нагрузки, и обеспечить перемещение этой воды достаточно трудно, поскольку до 95 % связанная вода остается в исходном состоянии. Уместно отметить, что такая вода переходит в лед при достаточно низких температурах замерзания воды $T_b \approx -4...-6$ °С.

Свободная вода состоит из гравитационной и капиллярной составляющих.

Капиллярная вода замерзает при температурах, близких к значениям температуры замерзания связанной воды, процесс перехода гравитационной воды в лед происходит уже при любых отрицательных значениях $T \leq 0$ °С.

Таким образом, с позиций механики деформирования оттаивающего почвогрунта определенной влажности, можно выделить два основных состояния присутствующей в нем воды:

1 — свободная гравитационная вода (плотностью 1000 кг/м^3), легко перемещается под действием внешнего давления в основном в направлении основного усилия, переходит в лед при достижении любых отрицательных температур;

2 — связанная высокоплотная (плотностью до 1400 кг/м^3) с низкой (до -6 °С) температурой замерзания вода, включает связанную и свободную капиллярную воды, оказывает сильное сопротивление внешнему давлению.

Пусть начальное распределение в единице объема почвогрунта свободной и связанной воды определяется соответствующими компонентами вектора $\vec{v}_0 = (\omega_1 + \omega_2)$, причем $\omega_1 + \omega_2 = 1$.

Матрица Маркова переходных состояний применительно к поставленной задаче давления на почвогрунт представляет собой квадратную размерностью 2×2 матрицу вероятностей P_c , на главной диагонали которой расположены вероятности p_{11}, p_{22} , отражающие факт количественного (в процентах) сохранения исходного состояния воды.

Другие элементы матрицы, а именно вероятности p_{ij} , описывают вероятности переходов воды из i -го состояния в j -е и наоборот.

Тогда согласно теории Маркова и особенностей ее прикладных аспектов, развитых в работах [16, 17], умножение вектора \vec{v}_0 на матрицу P_c определяет вектор \vec{v}_1 — распределение состояний воды после первого цикла воздействия (прохода первой колесной пары форвардера).

Пусть начальное состояние воды характеризуется вектором \vec{v}_0

$$\vec{v}_0 = (0,6; 0,4). \quad (8)$$

В матрице переходных состояний P_c в качестве p_{11} принимаем $p_{11} = 1 - \lambda / 100$, а $p_{22} = 0,95$, т. е. матрица переходных состояний примет вид

$$P_c = \begin{pmatrix} 1 - \lambda / 100 & \lambda / 100 \\ 0,05 & 0,95 \end{pmatrix}. \quad (9)$$

Тогда умножение вектора (8) на матрицу (9) дает вектор состояния воды после первого цикла воздействия на почвогрунт.

Как показали расчеты, при использовании форвардеров с низким давлением внешнего воздействия (q до 39 кПа) вектор $\vec{v}_0 = (0,6; 0,4)$ при

изменении модуля деформации E от 900 до 5000 кПа и постоянстве остальных условий, приводит к вектору состояний $\vec{v}_1 = (0,58; 0,42)$, т. е. относительное изменение не превосходит 5% .

Это означает, что процесс фильтрации является весьма слабым и показатель влажности W_0 увеличивается менее чем на $2,5\%$. Процессами фильтрации воды при оценке характера деформирования почвогрунта можно пренебречь.

Аналогичные закономерности установлены при исследовании процессов разрушения коры при роторной окорке балансов, а также прессовании и обезживании различных пород древесины [18, 19].

При использовании форвардеров с высоким давлением внешнего воздействия на грунт (до 80 кПа) количественными изменениями компонент (ω_1, ω_2) пренебрегать нельзя.

На рис. 4 отложены значения компонент ω_1 и ω_2 в зависимости от E .

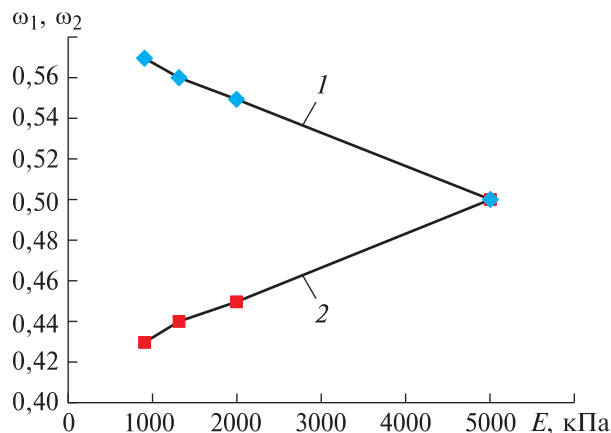


Рис. 4. Зависимость компонент вектора состояний от модуля деформации: 1 — ω_1 ; 2 — ω_2

Fig. 4. Dependence of the components of the state vector on the strain modulus: 1 — ω_1 ; 2 — ω_2

Как видно, чем выше значения модуля деформации E , тем интенсивнее происходит процесс фильтрации и перехода свободной воды в связанное состояние. Это, с одной стороны, обуславливает повышение влажности в нижележащем слое почвогрунта и снижение его прочностных свойств, что приведет к дополнительному углублению колеи на величину Δh , а с другой — увеличивает вероятность сохранения воды в жидком состоянии за счет более низких температур замерзания связанной воды.

В табл. 4 представлены результаты расчетов по предложенной методике для насыщенного влагой грунта $W_0 = 35\%$.

На основании данных табл. 4 произведены оценки показателя фильтрации воды λ (%) и значений абсолютных приростов показателей:

- влажности ΔW (%);
- горизонтального давления $\Delta \tau_h$ (кПа);

Таблица 4

Показатели возможного углубления колеи за счет учета
фильтрации жидкости в оттаивающем грунтеIndicators of possible deepening of the gauge due to the inclusion
of fluid filtration in the thawing soil

q	27			58			80		
E	900	2000	5000	900	2000	5000	900	2000	5000
λ	2,5	4,1	6,9	5,4	8,8	14,8	7,6	12,3	20,9
ΔW	0,9	1,4	2,4	1,9	3,1	5,2	2,7	4,3	7,3
$\Delta \tau_h$	0,46	0,73	1,54	1,98	4,23	7,16	4,86	8,12	14,51
$\Delta \tau$	-0,21	-0,31	-0,52	-0,55	-0,86	-1,35	-0,89	-1,36	-2,11
Δh	1,1	1,4	1,8	2,0	2,8	3,2	2,9	3,3	4,0

- предела прочности на сдвиг $\Delta \tau$ (кПа);
- глубины колеи Δh (м²).

Указанные приращения достигнуты за счет учета процесса фильтрации жидкости под действием давлений q (кПа) в различных грунтах, характеризующихся модулем деформации E (кПа).

Сравнительный анализ данных табл. 4 и рис. 2 показывает, что использование форвардеров с низким давлением (до 37 кПа) в оттаивающих почвогрунтах в широком диапазоне изменения E с учетом всех факторов процесса фильтрации и снижения прочности почвогрунта добавляет не более 1–2 см к прогнозным значениям глубины колеи.

При использовании форвардеров с высоким давлением (до 80 кПа) этот показатель увеличивается практически вдвое — до 4 см, что при прогнозе первичной колеи в 18–20 см приводит к более сложным условиям эксплуатации трелевочной системы и снижению ее эффективности.

Рассмотрим закономерности деформирования оттаивающего почвогрунта при условии возможного снижения влажности до показателей $W_0 = 10\text{--}20\%$, т. е. до сухого состояния почвогрунта, учитывая, что коэффициент Пуассона ν , использованный в предложенной модели в соотношениях (1) и (4), зависит от влажности в широком диапазоне изменения температуры почвогрунта и колеблется в пределах 0,2–0,5 [20], т. е. коэффициент бокового распора α , связывающий величины вертикального и горизонтального давлений, изменяется от 0,25 до 1.

По данным [21] зависимость коэффициента Пуассона от влажности для песков, супесей, суглинка и глины хорошо описывается экспоненциальной зависимостью (рис. 5) в диапазоне изменения влажности от 15 до 35%. При стремлении W_0 к 50% коэффициент Пуассона ограничен сверху и имеет место $\nu \rightarrow 0,5$.

Оценим влияние исходной общей влажности W_0 на глубину колеи.

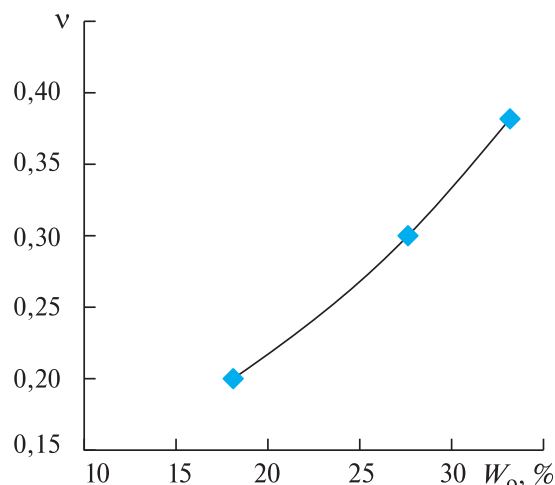


Рис. 5. Зависимость коэффициента Пуассона от общей влажности грунта

Fig. 5. Dependence of Poisson's ratio on the total soil moisture

На рис. 6 представлены результаты расчетов глубины колеи для различных значений модуля деформации E при относительно сухом состоянии почвогрунта $10 \leq W_0 \leq 20\%$ (а) и умеренно влажном состоянии $20 < W_0 \leq 30\%$ (б).

Анализ кривых позволяет заключить, что они практически эквидистантны, т. е. отстоят друг от друга на постоянную величину, равную 0,5–1,5 см для сухого состояния почвогрунта и 5–7 см для уверенно влажного состояния, причем отличия в глубине тем меньше, чем выше значения модуля E .

Для сухого состояния почвогрунта во всем диапазоне изменений q и E глубина колеи не выходит за пределы 10 см.

При умеренно влажном почвогрунте применение форвардеров с давлением $q = 80$ кПа во всем диапазоне изменения E не обеспечивает заданного ограничения по глубине колеи. При низком давлении ограничение выполняется только для относительно устойчивых грунтов с $E \geq 2000$ кПа.

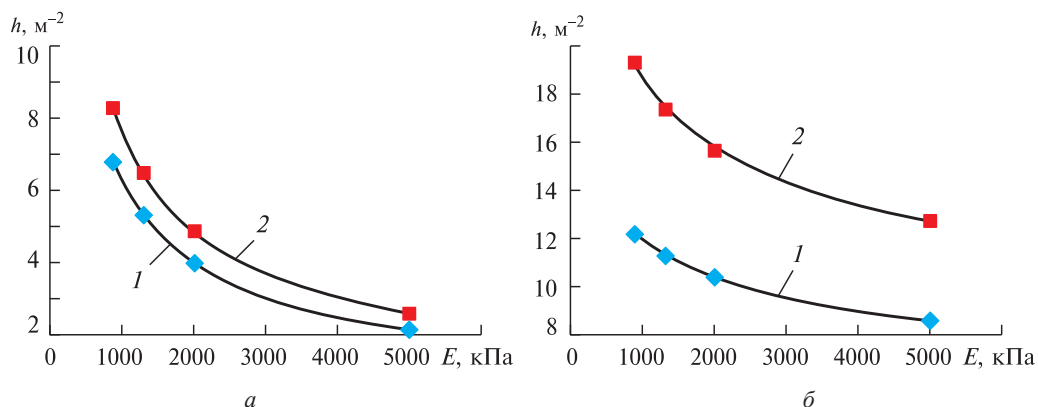


Рис. 6. Зависимость глубины колеи от модуля деформации с учетом влажности и внешнего давления на почвогрунт: а) $10 \leq W_0 \leq 20\%$; б) $20 < W_0 \leq 30\%$; 1 — $q = 27 \text{ кПа}$; 2 — $q = 80 \text{ кПа}$

Fig. 6. The dependence of the depth of the gauge on the strain modulus, taking into account the initial pressure on the soil: а) $10 \leq W_0 \leq 20\%$; б) $20 < W_0 \leq 30\%$; 1 — $q = 27 \text{ kPa}$; 2 — $q = 80 \text{ kPa}$

Выводы

Этот результат показывает, что характеристика влажности оттаивающего почвогрунта и модуль деформации E являются основными характеристиками физико-механических свойств, опосредованно влияющими на значения предела прочности на сдвиг и коэффициент Пуассона почвогрунта и определяющими, в конечном счете, характер и результаты развития процесса формирования колеи под действием трелевочной системы.

Особенностью эксплуатации форвардеров в условиях мерзлых и оттаивающих почвогрунтов является циклический характер температурного режима, когда в определенный период суток, например ночью, температура может опуститься до $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ или, в дневное время, подняться до $10 \text{ }^\circ\text{C}$ и более.

Указанная особенность будет проявляться в том, что свободная вода в течение суток может переходить из жидкого состояния в лед и наоборот, тогда влажность и модуль деформации грунта будут варьироваться.

Уместно отметить, что деформационные свойства воды и льда существенно различаются. Так величина E для свободной воды составляет 2030 МПа , для высокоплотной связанной $E \approx 2840 \text{ МПа}$, для льда $E = 9000 \text{ МПа}$.

В этом случае интерес вызывает оценка фильтрационных свойств оттаивающих почвогрунтов с учетом циклического характера смены состояния воды.

В работе [22] на примере суглинка в лабораторных условиях выполнены исследования коэффициента фильтрации.

В течение достаточно короткого периода времени (нескольких часов) с помощью термоэлектрического холодильника грунт охладили до $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ при внешнем давлении $q = 100 \text{ кПа}$, а затем за такой же период времени при том же давлении произвели размораживание грунта.

Оказалось, что коэффициент фильтрации грунта увеличился в двадцать раз, однако по окончании двух суток снизился до исходного значения.

Характерно, что при отсутствии внешнего давления водопроницаемость образцов после их оттаивания увеличилась на 2–3 порядка. Установлено, что чем выше водопроницаемость исходного состояния грунта, тем больше изменяется этот показатель при его циклическом замораживании и оттаивании.

Эти выводы приобретают особую актуальность при рассмотрении вопросов циклическости воздействия трелевочной системы на мерзлый и оттаивающий грунты, когда перед вторым проходом форвардера (3–4 циклы) по окончании определенного периода времени необходимо учитывать новое состояние почвогрунта, существенно отличное от того состояния, при котором происходила реализация первого прохода (1–2 циклы).

Научные положения и результаты выполненных исследований создают предпосылки для адекватной оценки параметров этих процессов.

Список литературы

- [1] Григорьев И.В. Снижение отрицательного воздействия на почву колесных трелевочных тракторов обоснованием режимов их движения и технологического оборудования. СПб.: СПбГЛТА, 2006. 235 с.
- [2] Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средоадаптивные технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб.: СПбГЛТА, 2008. 175 с.
- [3] Григорьев И.В., Чураков А.А. Совершенствование конструкции активного полуприцепа форвардера на базе сельскохозяйственного колесного трактора // Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции. Тюмень, Тюменский индустриальный университет, 19 апреля 2018 г. / отв. ред. Н.С. Захаров. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2018. С. 84–88.

- [4] Ivanov V.A., Grigorev I.V., Gasparyan G.D., Manukovsky A.Y., Zhuk A.Yu., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. Environment-friendly logging in the context of water logged soil and knob-and-ridge terrain // *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 2018, t. 41, no. 2, pp. 22–27.
- [5] Manukovsky A.Y., Grigorev I.V., Ivanov V.A., Gasparyan G.D., Lapshina M.L., Makarova Yu.A., Chetverikova I.V., Yakovlev K.A., Afonichev D.N., Kunitskaya O.A. Increasing the logging road efficiency by reducing the intensity of rutting: mathematical modeling // *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 2018, t. 41, no. 2, pp. 35–41.
- [6] Григорьев И.В., Чураков А.А., Григорьева О.И. Перспективная конструкция гусеничного форвардера // *Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции*, 2017. С. 140–144.
- [7] Добрецов Р.Ю., Григорьев И.В. Оценка энергоэффективности шасси гусеничных лесных машин // *Транспортные и транспортно-технологические системы: Материалы Международной научно-технической конференции*. Тюмень, Тюменский индустриальный университет, 20 апреля 2017 г. Тюмень: Тюменский индустриальный университет, 2017. С. 145–149.
- [8] Григорьев И.В., Григорьева О.И., Нгуен Ф.З. Система машин и технология работ для малообъемных лесозаготовок // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*, 2017. С. 51–53.
- [9] Григорьев И.В., Куницкая О.А. Перспективные направления опытно-конструкторских работ в лесном машиностроении // *Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Третьей Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. Петрозаводск, Петрозаводский государственный университет, 30 мая 2017 г. Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2017. С. 53–56.
- [10] Lisov V.Yu., Grigorev I.V. Determination coefficient filtration of forest soil // *European Science and Technology: Materials of the IV International research and practice conference*, Munich, April 10–11, 2013. Munich, Germany: Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg, 2013, v. 1, pp. 268–274.
- [11] Хитров Е.Г., Дмитриева М.Н., Лухминский В.А., Хахина А.М., Григорьев И.В., Иванов В.А. Теоретический расчет конусного индекса заболоченного грунта // *Системы. Методы. Технологии*, 2017. № 4 (36). С. 152–156.
- [12] Дмитриева М.Н., Григорьев И.В., Лухминский В.А., Казаков Д.П., Хахина А.М. Экспериментальные исследования конусного индекса и физико-механических свойств заболоченного грунта // *Лесотехнический журнал*, 2017. Т. 7. № 4 (28). С. 167–174.
- [13] Хитров Е.Г., Григорьев И.В., Хахина А.М. Повышение эффективности трелевки обоснованием показателей работы лесных машин при оперативном контроле свойств почвогрунта. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 146 с.
- [14] Роман Л.Т., Царапов М.Н. Пособие по определению физико-механических свойств промерзающих, мерзлых и оттаивающих дисперсных грунтов. М.: КДУ, Университетская книга, 2018. 188 с.
- [15] Колесников Ю.В., Морозов Е.М. Механика контактного разрушения. М.: ЛКИ, 2010. 224 с.
- [16] Шапиро В.Я., Шапиро Н.А. Использование цепей Маркова для прогноза эффективности ПИФов // *Материалы Международной научной конференции «Экономическое развитие: теория и практика»*. Санкт-Петербург, СПбГУ, 5–6 апреля 2007 / ред. И.П. Бойко. СПб.: СПбГУ, 2007. С. 79–81.
- [17] Шапиро В.Я., Шапиро Н.А. Моделирование портфельных инвестиций в условиях негативных сценариев развития фондового рынка // *Финансы и кредит*, 2008. № 15 (303). С. 39–51.
- [18] Пигильдин Н.Ф. Окорка лесоматериалов (теория, технология, оборудование). М.: Лесная пром-сть, 1982. 192 с.
- [19] Куницкая О.А., Шапиро В.Я., Бурмистрова С.С., Григорьев И.В. Определение оптимальных параметров процесса прессования и обезвоживания пропитанных древесных материалов // *Вестник МГУЛ – Лесной вестник*, 2012. № 4. С. 110–115.
- [20] Велли Ю.Я., Докучаев В.В., Федоров Н.Ф. Здания и сооружения на крайнем Севере. Л.: Госстройиздат, 1963. 492 с.
- [21] Цытович Н.А. Механика мерзлых грунтов. М.: Высшая школа, 1983. 288 с.
- [22] Жиленков В.Н. Усовершенствованная методика определения фильтрационных свойств грунтов, подвергшихся промораживанию и оттаиванию // *Известия ВНИИГ им. Б.Е.Веденеева*, 1999. Т. 235. С. 46–51.

Сведения об авторах

Рудов Сергей Евгеньевич — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры № 3 ФГБОУ ВО «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного», 89213093250@mail.ru

Шапиро Владимир Яковлевич — д-р техн. наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры «Высшая математика» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», shapiro54vlad@mail.ru

Григорьев Игорь Владиславович — д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса» ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия», silver73@inbox.ru

Куницкая Ольга Анатольевна — д-р техн. наук, профессор кафедры «Технология и оборудование лесного комплекса» ФГБОУ ВО «Якутская государственная сельскохозяйственная академия», ola.ola07@mail.ru

Григорьева Ольга Ивановна — канд. с.-х. наук, доцент кафедры «Лесоводство» ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», grigoreva_o@list.ru

Поступила в редакцию 16.10.2018.

Принята к публикации 26.12.2018.

INTERACTION FEATURES OF SKIDDING SYSTEM WITH THAWING SOIL

S.E. Rudov¹, V.Y. Shapiro², I.V. Grigorev³, O.A. Kunitskaya³, O.I. Grigoreva²

¹Military Academy of communication named after Marshal of the Soviet Union S. M. Budyonny, 3, K-64, Tikhoretsky prospect, 194064, Saint-Petersburg, Russia

²St. Petersburg state forest engineering University named after S.M. Kirov, 5, Institutskiy pereulok, 194021, St.-Petersburg, Russia

³Yakutsk state agricultural Academy, 3, 3 km, sh. Sergelyakhskoe, 677007, Yakutsk, Russia

shapiro54vlad@mail.ru

Logging operations in the Far North are characterized by extremely difficult climatic conditions. Operation of skidding systems in relation to frozen soils makes it necessary to take it into account as a multicomponent complex environment. The need to minimize the anthropogenic load on the environment raises the problem of optimizing the number of passes of the skidding system for the same skidding track in the category of the most relevant. The process of formation of ruts by the mover of the forest machine has a number of features during the performance of logging operations in the conditions of frozen and thawing soils, i.e. in the former frozen soils at positive temperature. When thawing frozen soil is oversaturated with water, in connection with which, significantly weaken the natural connections between the solid particles and physical and mechanical properties lose their original values. At the same time, at the boundary of thawing, the forces of soil adhesion are reduced. The intensity of this reduction depends on the initial soil moisture. The article considers the interaction of the wheel forwarder mover with thawing soil from the standpoint of the mechanics of contact destruction, based on the cyclicity of the impact of the skidding system on the frozen and thawing soils, when before the second pass of the forwarder, at the end of a certain period of time, it is necessary to take into account the new state of the soil, significantly different from the state in which the implementation of the first pass. Scientific provisions and the results of the research create prerequisites for an adequate assessment of the parameters of these processes.

Keywords: frozen soils, logging, skidding systems, compaction and deformation of soils

Suggested citation: Rudov S.E., Shapiro V.Y., Grigorev I.V., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. *Osobennosti vzaimodeystviya trelevochnoy sistemy s ottaivayushchim pochvogruntom* [Interaction features of skidding system with thawing soil]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 52–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-52-61

References

- [1] Grigor'ev I.V. *Snizhenie otritsatel'nogo vozdeystviya na pochvu kolesnykh trelevochnykh traktorov obosnovaniem rezhimov ikh dvizheniya i tekhnologicheskogo oborudovaniya* [Reduction of the negative impact on the soil of wheeled skidders by justifying the modes of their movement and technological equipment]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2006, 235 p.
- [2] Grigor'ev I.V., Zhukova A.I., Grigor'eva O.I., Ivanov A.V. *Sredoshchadyashchie tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyakh Severo-Zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii* [Mediating technology of cutting area development in the North-West region of the Russian Federation]. St. Petersburg: SPbGLTA, 2008, 175 p.
- [3] Grigor'ev I.V., Churakov A.A. *Sovershenstvovanie konstruksii aktivnogo polupritsepa forvardera na baze sel'skokhozyaystvennogo kolesnogo traktora* [Improving the design of an active semi-trailer forwarder based on an agricultural wheeled tractor] *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Tyumen', Tyumenskiy industrial'nyy universitet, 19 aprelya 2018 g. Otv. red. N.S. Zakharov [Transport and transport-technological systems: Materials of the International Scientific and Technical Conference. Tyumen, Tyumen Industrial University, April 19, 2018. Ed. N.S. Zakharov]. Tyumen: Tyumen Industrial University, 2018, pp. 84–88.
- [4] Ivanov V.A., Grigorev I.V., Gasparyan G.D., Manukovsky A.Y., Zhuk A.Yu., Kunitskaya O.A., Grigoreva O.I. Environment-friendly logging in the context of water logged soil and knob-and-ridge terrain. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*, 2018, t. 41, no. 2, pp. 22–27.
- [5] Manukovsky A.Y., Grigorev I.V., Ivanov V.A., Gasparyan G.D., Lapshina M.L., Makarova Yu.A., Chetverikova I.V., Yakovlev K.A., Afonichev D.N., Kunitskaya O.A. Increasing the rate of physical simulation of the financial community. *Journal of Mechanical Engineering Research and Development*, 2018, t. 41, no. 2, pp. 35–41.
- [6] Grigor'ev I.V., Churakov A.A., Grigor'eva O.I. *Perspektivnaya konstruksiya gusenichnogo forvardera* [Perspective design of a tracked forwarder] *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Transport and transport-technological systems: materials of the international scientific and technical conference], 2017, pp. 140–144.
- [7] Dobretsov R.Yu., Grigor'ev I.V. *Otsenka energoeffektivnosti shassi gusenichnykh lesnykh mashin* [Assessment of chassis energy of tracked forest machines] *Transportnye i transportno-tekhnologicheskie sistemy materialy: mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii*. Tyumen', Tyumenskiy industrial'nyy universitet, 20 aprelya 2017 g. [Transport and transport-technological systems materials: international scientific-technical conference. Tyumen, Tyumen Industrial University, April 20, 2017] Tyumen: Tyumen Industrial University, 2017, pp. 145–149.
- [8] Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I., Nguen F.Z. *Sistema mashin i tekhnologiya rabot dlya maloob'emnykh lesozagotovok* [System of machines and technology of works for low-volume logging] *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: Materialy tret'ey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem* [Increasing the efficiency of the forestry complex: Materials of the third All-Russian scientific-practical conference with international participation], 2017, pp. 51–53.

- [9] Grigor'ev I.V., Kunitskaya O.A. *Perspektivnye napravleniya opytно-konstruktorskikh работ v lesnom mashinostroenii* [Prospective areas of development work in forestry engineering] *Povyshenie effektivnosti lesnogo kompleksa: Materialy tret'ey Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem*. Petrozavodsk, Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet, 30 maya 2017 g. [Increasing the efficiency of the forestry complex: Materials of the third All-Russian scientific-practical conference with international participation. Petrozavodsk, Petrozavodsk State University, May 30, 2017]. Petrozavodsk: Petrozavodsk State University, 2017, pp. 53–56.
- [10] Lisov V.Yu., Grigorev I.V. Determination coefficient of forest soil. *European Science and Technology: Materials of the IV International research and practice conference*, Munich, April 10–11, 2013. Munich, Germany: Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg, 2013, v. I, pp. 268–274.
- [11] Khitrov E.G., Dmitrieva M.N., Lukhminskiy V.A., Khakhina A.M., Grigor'ev I.V., Ivanov V.A. *Teoreticheskiy raschet konusnogo indeksa zabolochennogo grunta* [Theoretical calculation of the cone index of marshy ground] *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Systems. Methods Technologies], 2017, no. 4 (36), pp. 152–156.
- [12] Dmitrieva M.N., Grigor'ev I.V., Lukhminskiy V.A., Kazakov D.P., Khakhina A.M. *Ekspirimental'nye issledovaniya konusnogo indeksa i fiziko-mekhanicheskikh svoystv zabolochennogo grunta* [Experimental studies of the cone index and the physico-mechanical properties of marshy soil] *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2017, v. 7, no. 4 (28), pp. 167–174.
- [13] Khitrov E.G., Grigor'ev I.V., Khakhina A.M. *Povyshenie effektivnosti trelevki obosnovaniem pokazateley raboty lesnykh mashin pri operativnom kontrole svoystv pochvogrunta* [Improving the efficiency of skidding by justifying the performance of forest machines in the operational control of the properties of the soil]. St. Petersburg: SPbGLTU, 2015, 146 p.
- [14] Roman L.T., Tsarapov M.N. *Posobie po opredeleniyu fiziko-mekhanicheskikh svoystv promerzayushchikh, merzlykh i ottaivayushchikh dispersnykh gruntov* [Manual on the definition of physico-mechanical properties of freezing, frozen and thawing dispersed soils]. Moscow: KDU, Universitetskaya kniga [University Book], 2018, 188 c.
- [15] Kolesnikov Yu.V., Morozov E.M. *Mekhanika kontaktного razrusheniya* [Mechanics of contact destruction]. Moscow: LKI, 2010, 224 p.
- [16] Shapiro V.Ya., Shapiro N.A. *Ispol'zovanie tsepey Markova dlya prognoza effektivnosti PIFov* [Using Markov chains to predict the effectiveness of mutual funds] *Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii «Ekonomicheskoe razvitiye: teoriya i praktika»*, Sankt Peterburg, SPbGU, 5–6 aprelya 2007/ Red. Boyko I.P. [Proceedings of the international scientific conference «Economic Development: Theory and Practice», St. Petersburg, St. Petersburg State University, 5–6 April 2007. Ed. Boyko I.P.] St. Petersburg: SPbSU, 2007, pp. 79–81.
- [17] Shapiro V.Ya., Shapiro N.A. *Modelirovaniye portfel'nykh investitsiy v usloviyakh negativnykh stsenariyev razvitiya fondovogo rynka* [Modeling of portfolio investments in conditions of negative scenarios of the stock market development]. *Finansy i kredit* [Finance and Credit], 2008, no. 15 (303), pp. 39–51.
- [18] Pigil'din N.F. *Okorka lesomaterialov (teoriya, tekhnologiya, oborudovaniye)* [Timber hacking (theory, technology, equipment)]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1982, 192 p.
- [19] Kunitskaya O.A., Shapiro V.Ya., Burmistrova S.S., Grigor'ev I.V. *Opredeleniye optimal'nykh parametrov protsessa pressovaniya i obezvozhivaniya propitannykh drevesnykh materialov* [Determination of the optimal parameters of the process of pressing and dehydration of impregnated wood materials] *Moscow state forest university bulletin — Lesnoy vestnik*, 2012, no. 4, pp. 110–115.
- [20] Velli Yu.Ya., Dokuchaev V.V., Fedorov N.F. *Zdaniya i sooruzheniya na kraynem Severe* [Buildings and facilities in the Far North]. Leningrad: Gosstroyizdat, 1963, 492 p.
- [21] Tsytoich N.A. *Mekhanika merzlykh gruntov* [Mechanics of frozen soils]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1983, 288 p.
- [22] Zhilenkov V.N. *Uovershenstvovannaya metodika opredeleniya fil'tratsionnykh svoystv gruntov, podvergshikhsya promorazhivaniyu i ottaivaniyu* [Improved methods for determining the filtration properties of soils subjected to freezing and thawing]. *Izvestiya VNIIG im. B.E.Vedeneeva*, 1999, t. 235, pp. 46–51.

Authors' information

Rudov Sergey Evgenyevich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer of the Military Academy of communications named after Marshal of the Soviet Union S.M. Budyonny, 89213093250@mail.ru

Shapiro Vladimir Yakovlevich — Dr. Sci. (Tech.), Senior Researcher, Professor of the Department of Higher mathematics, St. Petersburg state forest engineering University named after S.M. Kirov, shapiro54vlad@mail.ru

Grigorev Igor Vladislavovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department Technology and equipment of the forest complex, Yakutsk state agricultural Academy, silver73@inbox.ru

Kunitskaya Olga Anatol'evna — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department Technology and equipment of the forest complex, Yakut state agricultural Academy, ola.ola07@mail.ru

Grigoreva Ol'ga Ivanovna — Cand. Sci. (Agricultural), Associate Professor of the Forestry Department, St. Petersburg state forest engineering University named after S.M. Kirov, grigoreva_o@list.ru

Received 16.10.2018.

Accepted for publication 26.12.2018.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ МНОГООПЕРАЦИОННОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СОРТИМЕНТОВ И ПАКЕТОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

С.П. Карпачев, В.И. Запруднов, М.А. Быковский

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

Предложена многооперационная лесная машина на базе тракторного процессора для раскряжевки деревьев и изготовления пакетов из древесных отходов. В статье приводятся результаты имитационного моделирования работы многооперационной машины. Рассматриваются две технологии работы машины. Первая технология предусматривает параллельную работу лебедки и машины. Вторая технология предполагает последовательную работу лебедки с машиной. Разработана математическая модель технологических процессов. План экспериментов по двум технологиям включал два варьируемых фактора: среднее расстояние трелевки и среднее число деревьев в трелеваемой пачке (табл. 1, 2). Некоторые результаты экспериментов представлены в виде графиков на рис. 6–9. Как видно из графика на рис. 6, производительность выпуска пакетов из древесных отходов по технологии 1 падает с увеличением расстояния трелевки независимо от числа деревьев в трелеваемой пачке. Производительность резко повышается с увеличением числа деревьев в трелеваемой пачке с одного до двух на 40–50 %. Изменение длины средней очереди деревьев перед многооперационной машиной зависит от трелевки, которая представлена на рис. 7. Для одного и двух деревьев очередь деревьев увеличивается с уменьшением расстояния трелевки. При этом для пачки из одного дерева средняя длина очереди при среднем расстоянии трелевки 20 м чуть больше одного дерева, а для пачки из двух деревьев — 3000 деревьев, что может оказаться неприемлемо на практике. Из графика на рис. 8 видно, производительность выпуска пакетов из древесных отходов по технологии 2 также падает с увеличением расстояния трелевки независимо от числа деревьев в трелеваемой пачке, как и по технологии 1. Производительность повышается с увеличением числа деревьев в трелеваемой пачке с одного до двух примерно на 30 %, что меньше, чем по технологии 1. Графики производительности формирования пакетов по двум технологиям для трелеваемой пачки из одного бревна приведены на графике рис. 9. Сравнение этих графиков показывает, что производительность формирования пакетов по технологии 1 примерно на 20–60 % выше, чем по технологии 2.

Ключевые слова: многооперационная лесная машина, лесосечные отходы, пакеты из древесных отходов, имитационное моделирование

Ссылка для цитирования: Карпачев С.П., Запруднов В.И., Быковский М.А. Моделирование работы многооперационной лесозаготовительной машины для производства сортиментов и пакетов из древесных отходов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 62–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-62-69

Лесозаготовки предусматривают операции валки леса с последующей очисткой их от сучьев и раскряжевкой на сортименты [1]. На этих операциях сегодня применяют различные машины. Например, тракторные процессоры (рис. 1). Такие процессоры оснащаются компактным сучкорезно-раскряжевочным устройством, которое агрегируются с недорогими тракторами общего назначения. В зависимости от технологии и типа рубок процессор дополнительно может быть оснащен лебедкой, манипулятором с захватом и даже срезающим устройством [2–5].

Основное преимущество тракторных процессоров — это их относительно невысокая цена по сравнению с харвестером. Еще одно преимущество — это невысокие требования к квалификации оператора. Тракторные процессоры особенно эффективны на малообъемных заготовках леса, на различных видах рубок ухода и санитарных рубках [6–10].



Рис. 1. Тракторный процессор HYPRO 300 [21]
Fig. 1. Tractor processor HYPRO 300 [21]

К недостаткам тракторных процессоров, как и многих других лесозаготовительных машин, можно отнести то, что они не решают проблему утилизации лесосечных отходов. Технологически сброс веток, сучьев и вершинок тракторный процессор производит непосредственно перед сучкорезно-раскряжевочным устройством.

Иногда, после одного-двух обработанных деревьев, образуется куча отходов, которая затрудняет загрузку сучкорезно-раскряжевочного устройства. Если процессор не имеет манипулятора для уборки лесосечных отходов, тогда придется часто менять технологические стоянки. Для этого необходимо время, что снижает производительность процессора.

Цель работы

В настоящей статье предлагается рассмотреть работу лесной многооперационной машины, которая позволяет не только выполнять сучкорезно-раскряжевочные операции, но и осуществлять прием и пакетирование лесосечных отходов для нужд биоэнергетики [11–19].

Материалы и методы

Для обозначенных целей нами предлагается дооснастить процессор пакетформирующим устройством (рис. 2). Это устройство включает приемный стол с прессующим приспособлением. Пакетформирующее устройство предназначено для приема срезанных веток, сучьев и вершинок, и формирования из них спрессованных пакетов. По предлагаемой технологии предварительно сваленные деревья трелюют лебедкой к многооперационной лесной машине и затем перерабатывают в сортименты, а отходы прессуют в пакеты (рис. 3). Эффективность работы предложенной машины решено было исследовать на математических моделях [2–4, 20]. Приводим описание математических моделей работы многооперационной лесной машины по двум технологиям и результаты имитационных экспериментов с ними.

В модели время циклов работы всех устройств будем считать случайной величиной, распределенной по экспоненциальному закону.

Трелевка деревьев

Часовая производительность лебедки на трелевке деревьев определялась по формуле

$$P_{\text{час}} = \frac{3600 \cdot Q_{\text{п}}}{T_{\text{ц.тр}}}, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{п}}$ — объем трелюемой пачки деревьев, м^3 ;
 $T_{\text{ц.тр}}$ — время цикла работы лебедки, с.

Время цикла, затрачиваемое на выполнение операций по трелевке деревьев лебедкой, определялась по формуле

$$T_{\text{ц.тр}} = t_{\text{ч}} + t_{\text{г}} + t_{\text{х}} + t_{\text{отц}}, \text{ с}, \quad (2)$$

где $t_{\text{ч}}$ — время на чоковуювку одного дерева, с;
 $t_{\text{г}}$ — время в грузовом направлении трелевки, с;
 $t_{\text{х}}$ — время на перемещение оператора с тяговым канатом к месту чоковойвки, с;
 $t_{\text{отц}}$ — время на отцепку одного дерева, с.

Затраты времени в грузовом и порожнем направлениях трелевки определялись возможной длиной каната

$$t_{\text{г}} + t_{\text{х}} = \frac{l_{\text{тр}}}{v_{\text{г}}} + \frac{l_{\text{тр}}}{v_{\text{х}}}, \text{ с}, \quad (3)$$

где $v_{\text{г}}$, $v_{\text{х}}$ — скорость трелевки при движении каната соответственно в грузовом и порожнем направлениях, м/с;

$l_{\text{тр}}$ — среднее расстояние трелевки, м.

Среднее расстояние трелевки принято равным 20, 30 и 40 м (табл. 1).

Средний объем дерева зависит от его породы и возраста. В статье приняты следующие показатели дерева:

- объем хлыста — 0,70 м^3 ;
- объем кроны — 0,43 м^3 ;
- объем дерева — 1,13 м^3 .

Очистка деревьев от сучьев и раскряжевка на сортименты

Часовую производительность сучкорезно-раскряжевочного узла определяли по формуле

$$P_{\text{час}} = \frac{3600 \cdot q_{\text{х}}}{T_{\text{ц.ру}}}, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (4)$$

где $q_{\text{х}}$ — средний объем хлыста, м^3 .

Т а б л и ц а 1
Расчетные средние значения времени циклов на трелевку в зависимости от среднего расстояния трелевки ($l_{\text{тр}}$) и числа деревьев в трелюемой пачке ($n_{\text{дер}}$)

Calculated average values of cycle time for skidding depending on the average distance of skidding ($l_{\text{тр}}$) and the number of trees in a trebled pack ($n_{\text{дер}}$)

$l_{\text{тр}}$, м	$n_{\text{дер}}$	$v_{\text{х}}$, м/с	$v_{\text{г}}$, м/с	$t_{\text{ч}}$, с	$t_{\text{г}}$, с	$t_{\text{х}}$, с	$t_{\text{отц}}$, с	$T_{\text{ц.тр}}$, с
20	1	1,3	0,5	10	40	15	10	75
30	1	1,3	0,5	10	60	23	10	103
40	1	1,3	0,5	10	80	31	10	131
20	2	1,3	0,5	20	40	15	20	95
30	2	1,3	0,5	20	60	23	20	123
40	2	1,3	0,5	20	80	31	20	151

Т а б л и ц а 2
Расчетные значения времени цикла на работу сучкорезно-раскряжевочного устройства для числа сортиментов $n_{\text{сорт}} = 3$

Calculated values of the cycle time for operation of the delimiting-bucking device for the number of assortments $n_{\text{сорт}} = 3$

$n_{\text{сорт}}$	$t_{\text{п}}$, с	$t_{\text{с-р}}$, с	$T_{\text{ц.пр}}$, с
3	30	15	45

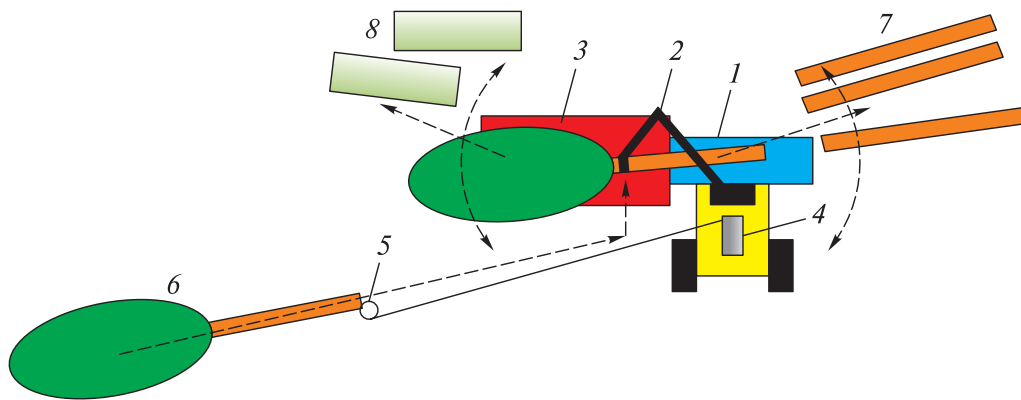


Рис. 2. Многооперационная лесная машина с устройством для пакетирования лесосечных отходов: 1 — сучкорезно-раскряжевное устройство; 2 — манипулятор; 3 — пакетформирующее устройство; 4 — лебедка; 5 — чокер; 6 — дерево; 7 — сортименты; 8 — пакетированные лесосечные отходы

Fig. 2. Multi-operational forest machine with a device for packing logging waste: 1 — delimiting-bucking device; 2 — manipulator; 3 — packet forming device; 4 — winch; 5 — choker; 6 — tree; 7 — assortments; 8 — packaged logging waste

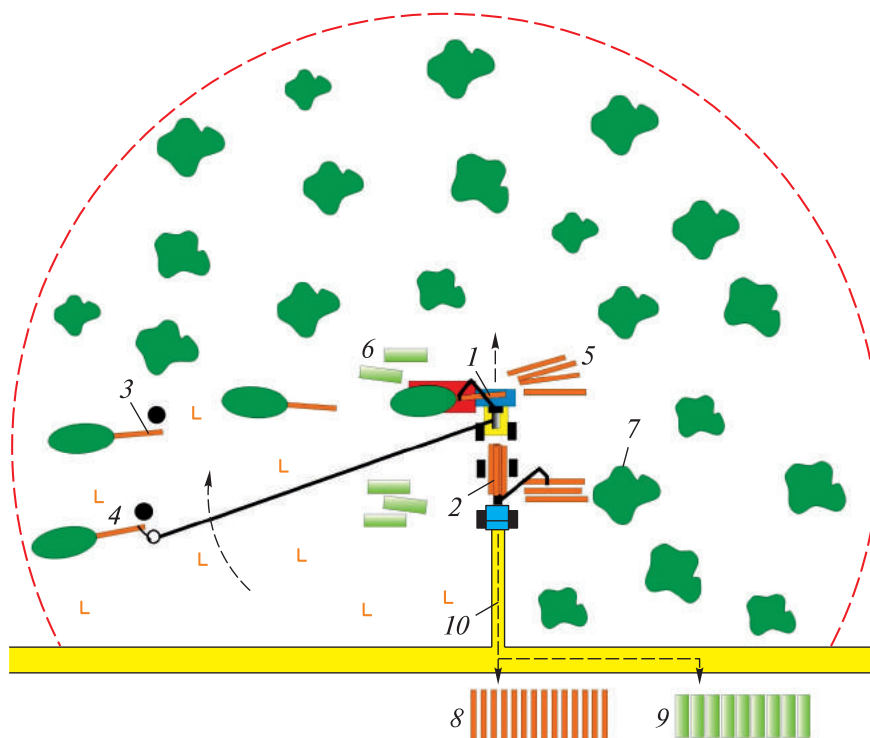


Рис. 3. Технологическая схема сортиментной заготовки леса и пакетирования лесосечных отходов многооперационной лесной машиной: 1 — многооперационная лесная машина; 2 — сортиментовоз; 3 — сваленное дерево; 4 — чокеровка дерева; 5 — пачка сортиментов; 6 — пакеты лесосечных отходов; 7 — растущее дерево; 8 — штабель сортиментов; 9 — штабель пакетов; 10 — волок; 11 — лесовозная дорога

Fig. 3. Technological scheme of assortment logging and packing of forest waste by a multioperational forest machine: 1 — a multioperational forest machine; 2 — timber log truck; 3 — felled tree; 4 — wood chopping; 5 — pack of assortments; 6 — packages of logging waste; 7 — growing tree; 8 — pile of assortments; 9 — stack of packages; 10 — fiber; 11 — forest road

Время цикла, затрачиваемое на выполнение операций по обрезке сучьев и раскряжевке дерева сучкорезно-раскряжевочным устройством, определяли по формуле

$$T_{ц.ру} = t_{п} + t_{с-р}, \text{ с}, \quad (5)$$

где $t_{п}$ — время на погрузку дерева в сучкорезно-раскряжевочное устройство, с;

$t_{с-р}$ — время на очистку ствола от сучьев и на раскряжевку, с.

Время на установку дерева в раскряжевочное устройство $t_{п}$ будет зависеть от скорости действия лебедки, квалификации оператора, расположения дерева и пр. Среднее время на установку дерева было определено путем хронометража процессора HYPRO 300. Также было определено время на очистку дерева от сучьев и на раскряжевку (табл. 2).

Пакетирование древесных отходов

Часовую производительность пакетирующего узла можно определить по формуле

$$П_{\text{час}} = \frac{3600 \cdot q_{\text{отх}}}{T_{\text{ц.пак}}}, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (6)$$

где $q_{\text{отх}}$ — средний объем древесных отходов от одного дерева, м^3 .

Время цикла, затрачиваемое на выполнение операций по пакетированию древесных отходов, можно определить по формуле

$$T_{\text{ц.пак}} = t_{с} + t_{\text{пак}}, \text{ с}, \quad (7)$$

где $t_{с}$ — время на поступление сучьев в приемный стол, с;

$t_{\text{пак}}$ — время на пакетирование древесных отходов, с.

Результаты и обсуждение

Следует отметить, что очистка деревьев от сучьев и их поступление на приемный стол — это процессы, которые происходят одновременно.

Процесс пакетирования разумно совместить с операцией установки дерева в сучкорезно-раскряжевочное устройство. Заметим, что если время цикла пакетирования меньше времени цикла установки дерева, то цикл работы машины не будет зависеть от пакетирующего устройства. Если время цикла пакетирования больше времени цикла установки дерева, то цикл работы машины будет зависеть от работы как сучкорезно-раскряжевочного узла, так и от пакетирующего устройства. В данном случае было принято среднее время пакетирования, равное 20 с.

С использованием формул (1)–(7) была разработана имитационная модель технологического процесса и составлен план экспериментов.

Рассматриваются два варианта работы многооперационной машины совместно с лебедкой:

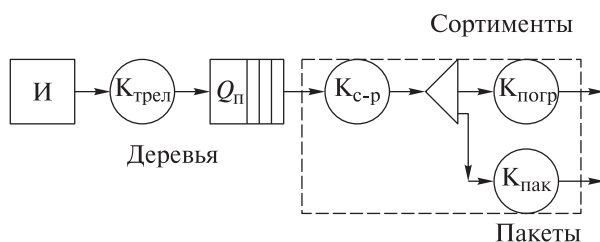


Рис. 4. Схема параллельной работы лебедки и многооперационной машины: И — источник заявок (деревьев); $K_{\text{трел}}$ — канал обслуживания заявки (дерева) на трелевке; $K_{\text{с-р}}$ — канал обслуживания заявки (дерева) на сучкорезно-раскряжевочном устройстве; $K_{\text{погр}}$ — канал обслуживания заявки (сортиментов) на погрузке; $K_{\text{пак}}$ — канал обслуживания заявки (лесосечные отходы) на пакетировании

Fig. 4. Scheme of parallel operation of the winch and multi-operation machine: И — the source of applications (trees); $K_{\text{трел}}$ — application service channel (tree) for skidding; $K_{\text{с-р}}$ — the service channel of the application (tree) on the delimiting-bucking device; $K_{\text{погр}}$ — channel service applications (assortments) for loading; $K_{\text{пак}}$ — application service channel (logging waste) on packaging

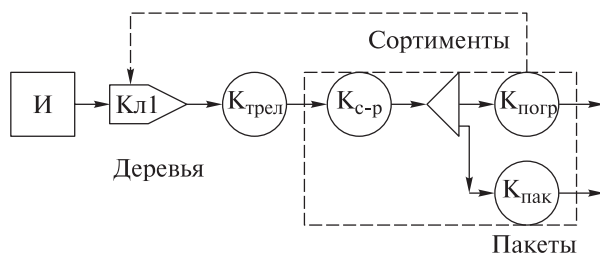


Рис. 5. Схема последовательной работы лебедки и многооперационной машины: Кл1 — клапан, который открывает доступ заявок (деревьев) на обслуживание, если прибор (тракторный процессор) свободен

Fig. 5. Scheme of the sequential operation of the winch and the multi-operation machine: Кл1 — valve that allows access of applications (trees) for maintenance if the device (tractor processor) is free

1-й вариант — параллельная (независимая) работа лебедки и машины (рис. 4);

2-й вариант — последовательная (зависимая) работа лебедки и машины (рис. 5).

План экспериментов по двум технологиям включал два варьируемых фактора: среднее расстояние трелевки и среднее число деревьев в трелеваемой пачке (см. табл. 1, 2).

Некоторые результаты экспериментов представлены в виде графиков на рис. 6–9.

Выводы

Производительность формирования пакетов из древесных отходов по технологии 1 падает с увеличением расстояния трелевки независимо от числа деревьев в трелеваемой пачке, что ожидаемо (рис. 6). Отметим, что производительность резко повышается с увеличением числа деревьев в трелеваемой пачке с одного до двух на 40–50 %.

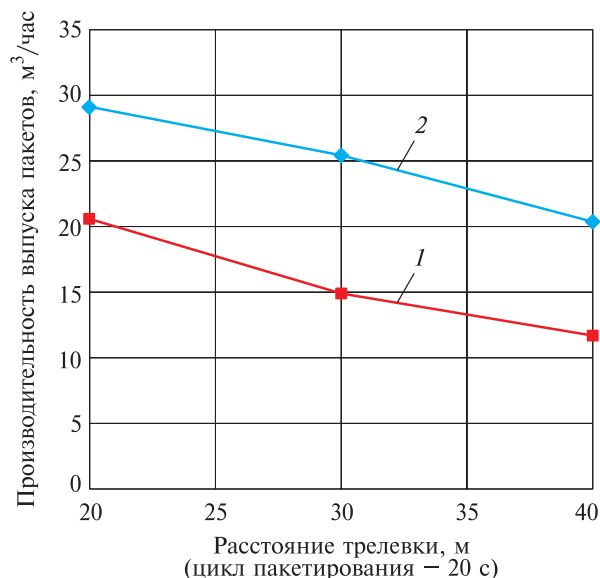


Рис. 6. Зависимость производительности выпуска пакетов из древесных отходов раскряжки по технологии 1 от расстояния трелевки для одного (1) и двух (2) деревьев в трелеваемой пачке

Fig. 6. The dependence of the productivity of the release of packages from wood waste of bucking according to technology 1 on the distance of logging for one (1) and two (2) trees in a trunked bundle

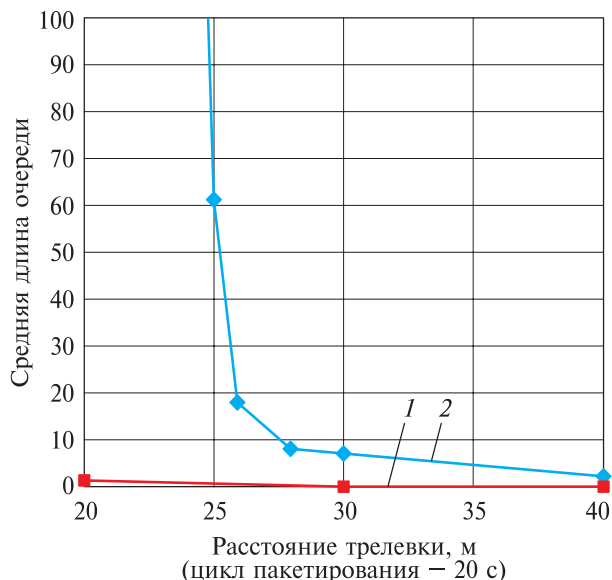


Рис. 7. Зависимость средней длины очереди деревьев к многооперационной машине по технологии 1 от расстояния трелевки для одного (1) и двух (2) деревьев в трелеваемой пачке

Fig. 7. The dependence of the average length of the queue of trees to a multioperational machine using technology 1 on the distance of skidding for one (1) and two (2) trees in a trunked pack

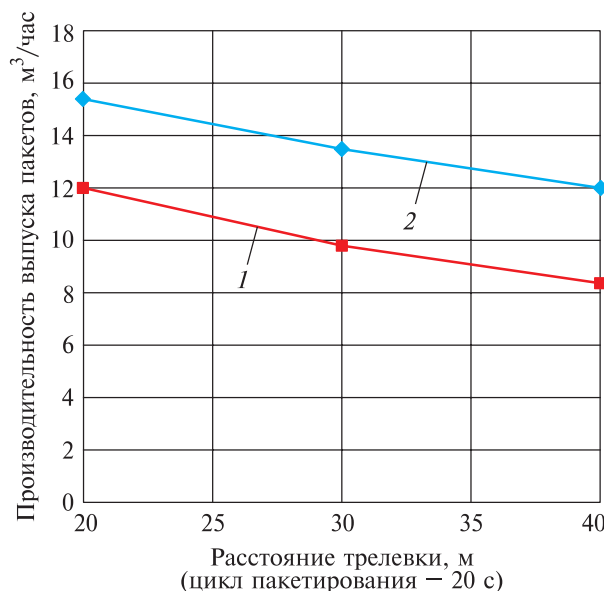


Рис. 8. Зависимость производительности выпуска пакетов из древесных отходов раскряжки по технологии 2 от расстояния трелевки для одного (1) и двух (2) деревьев в трелеваемой пачке

Fig. 8. The dependence of the performance of the release of packages from wood waste of bucking according to technology 2 on the distance of skidding for one (1) and two (2) trees in a trunked bundle

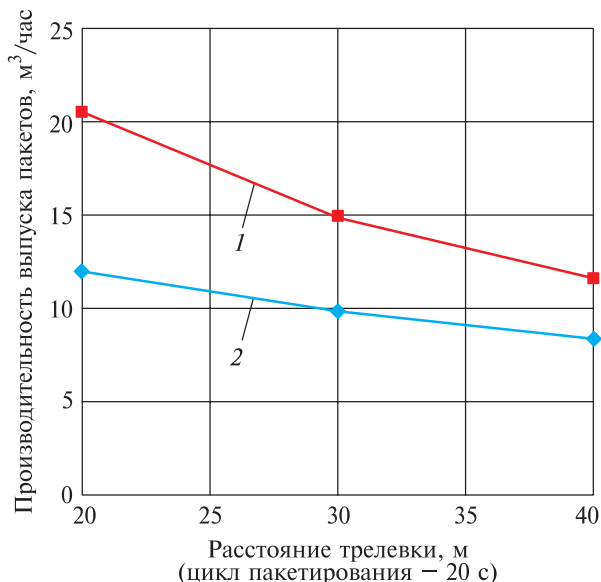


Рис. 9. Зависимость производительности выпуска пакетов из древесных отходов раскряжки по технологии 1 и технологии 2 от расстояния трелевки для одного дерева в трелеваемой пачке

Fig. 9. The dependence of the performance of the release of packages from wood waste of bucking according to technology 1 and technology 2 on the distance of skidding for one tree in a trunked packet

Изменение длины средней очереди деревьев перед многооперационной машиной зависит от протяженности трелевки (рис. 7). Для одного и двух деревьев очередь деревьев увеличивается с уменьшением длины трелевки. При этом для пачки из одного дерева средняя длина очереди при среднем расстоянии трелевки 20 м чуть больше одного дерева, а для пачки из двух деревьев — 3000 деревьев, что может оказаться неприемлемо на практике.

Производительность формирования пакетов из древесных отходов по технологии 2 также падает с увеличением расстояния трелевки независимо от числа деревьев в трелеваемой пачке, как и по технологии 1 (рис. 8). Отметим, что производительность повышается с увеличением числа деревьев в трелеваемой пачке с одного до двух примерно на 30 %, что меньше, чем по технологии 1.

Сравнение графиков производительности формирования пакетов по двум технологиям для трелеваемой пачки из одного бревна (рис. 9) показывает, что производительность формирования пакетов по технологии 1 примерно на 20–60 % выше, чем по технологии 2.

Список литературы

[1] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование раскрывки хлыстов сучкорезно-раскрывочной установкой и штабелевой сортировки погрузчиками разного типа // *Транспорт: наука, техника, управление*, 2016. № 3. С. 58–61.

[2] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование доставки круглых лесоматериалов потребителям автопоездами // *Экологические системы и приборы*, 2016. № 2. С. 18–22.

[3] Карпачев С.П., Лозовецкий В.В., Щербаков Е.Н. Моделирование логистических систем лесных материалов // *Транспорт: наука, техника, управление*, 2011. № 8. С. 16–20.

[4] Карпачев С.П., Шмырев В.И., Шмырев Д.В. Моделирование разгрузки пачек хлыстов и укладки их в плот сплотно-транспортно-штабелевыми агрегатами // *Транспорт: наука, техника, управление*, 2016. № 1. С. 57–59.

[5] Шелгунов Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства. М.: Лесная пром-сть, 1982. 520 с.

[6] Routa J., Asikainen A., Björheden R., Laitila J., Röser D. Forest energy procurement — state of the art in Finland and Sweden // *WIREs Energy and Environment*, 2013, no. 2 (6), pp. 602–613.

[7] Анисимов П.Н., Онучин Е.М. Оценка и способы повышения энергетической эффективности производства топливной щепы // *Материалы XXI Всероссийской научно-технической конференции «Энергетика: эффективность, надежность, безопасность»*, Томск, ТПУ, 2–4 декабря 2015 г. Томск: Скан, 2015. Т. 1. С. 252–255.

[8] Кундас С.П., Позняк С.С., Родькин О.И., Санников В.В., Ленгфельдер Э. Использование древесной биомассы в энергетических целях: научный обзор. Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2008. 85 с.

[9] Руководство по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий. Приложение 2 к Приказу Рослесхоза от 29.12.2007. № 523. 32 с.

[10] Боровиков В.П. STATISTICA: искусство анализа данных на компьютере. Для профессионалов. СПб.: Питер, 2001. 656 с.

[11] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method // *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45

[12] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations // *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21(6), pp. 433–444.

[13] Magagnotti N., Spinelli R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.

[14] Eliasson, L., von Hofsten, H., Johannesson, T., Spinelli, R., Thierfelder, T. Effects of sieve size on chipper productivity, fuel consumption and chip size distribution for open drum chippers // *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2015, v. 36(1), pp. 11–17.

[15] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering logging residue: experiences from the Italian Eastern Alps // *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2007, v. 28(1), pp. 1–9.

[16] Matevž Mihelič, Raffaele Spinelli, Anton Poje Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions // *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2018, v. 39(2), pp. 223–232.

[17] Мохирев А.П., Керющенко А.А. Методика формирования технологической цепочки заготовки деловой и энергетической древесины // *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2017. Т. 21. № 5. С. 17–22. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-5-17-22

[18] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy wood resources in Northwest Russia // *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.

[19] Rakopoulos C.D., Rakopoulos D.C., Giakoumis E.G., Dima-ratos A.M., Founti M.A. Comparative environmental behavior of bus engine operating on blends of diesel fuel with four straight vegetable oils of Greek origin: sunflower, cottonseed, corn and olive // *Int. J. Green Energy Fuel*, 2011, v. 90, pp. 3439–3446.

[20] Карпачев С.П. Логистика. Моделирование технологических процессов береговых складов. М.: МГУЛ, 2005. 132 с.

[21] Тракторный процессор HYPRO 300. URL: <https://i.ytimg.com/vi/9GrUKFSBRzw/maxresdefault.jpg> (дата обращения 01.06.2018).

Сведения об авторах

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

Запруднов Вячеслав Ильич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zaprudnov@mgul.ac.ru

Быковский Максим Анатольевич — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), bykovskiy@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 09.09.2018.

Принята к публикации 15.11.2018.

SIMULATION OF MULTIOPERATIONAL FORESTRY MACHINE FOR THE PRODUCTION OF LUMBERS AND BUNDLES OF WOOD WASTE

S.P. Karpachev, V.I. Zaprudnov, M.A. Bykovskiy

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

karpachevs@mail.ru

A multioperational forestry machine on the basis of the tractor processor for bucking trees and making bundles from waste wood is proposed. The article presents the results of simulation of multioperational machines. We consider two technologies work. The first technology provides for parallel operation of the winch and the machine. The second technique involves the sequential operation of the winch with the machine. The mathematical model of technological processes was developed. Design of experiments for both versions included two variable factors: the average distance of skidding and the average number of trees in the pack of trees (table. 1). Some experimental results are presented in graphs in Fig. 6–9. As can be seen from the graph in Fig. 6, the capacity of bundles from waste wood in technology 1 decreases with increasing skidding distances regardless of the number of trees in the pack of trees. The performance increases sharply with the increase in the number of trees in the pack of trees with 1 to 2 by 40–50 %. Change of length average queue trees in front of multifunction machine depends on the skidding, which is shown in Fig. 7. For 1 and 2 trees, the queue of trees increases with a decrease in the length skidding. For the pack of trees of 1 tree average queue length with an average skidding distance of 20 m to slightly more than for 1 tree, and for pack of trees of 2 trees — 3,000 trees, which may be unacceptable in practice. From the graph in Fig. 8, the performance of the bundles from waste wood bucking under option 2 technologies also decreases with increasing skidding distances regardless of the number of trees in pack of trees, as technology 1. The capacity improves with increasing number of trees in the pack of trees with 1 to 2, about 30%, less than in technique 1. The charts the formation of bundles by two technologies for the pack of trees of 1 logs are shown on the graph Fig. 9. A comparison of these graphs shows that the capacity of the technology 1 approximately 20–60 % higher in comparison with the technology 2 depending on skidding distances.

Keywords: multioperational forestry machine, forest residues, bundles, simulation modeling

Suggested citation: Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A. *Modelirovanie raboty mnogooperatsionnoy lesozagotovitel'noy mashiny dlya proizvodstva sortimentov i paketov iz drevesnykh otkhodov* [Simulation of multioperational forestry machine for the production of lumbers and bundles of wood waste]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 62–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-62-69

References

- [1] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie raskryazhevki khlystov suchkorezno-raskryazhevochnoy ustanovkoy i shtabelevkoy sortimentov pogruchikami raznogo tipa* [Simulation of bucking Khlysty with a delimiting-bucking installation and piling assortments with loaders of different types] *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2016, no. 3, pp. 58–61.
- [2] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie dostavki kruglykh lesomaterialov potrebitelyam avtopoezdami* [Modeling the delivery of round timber to consumers by road trains] *Ekologicheskie sistemy i pribory* [Ecological Systems and Devices], 2016, no. 2, pp. 18–22.
- [3] Karpachev S.P., Lozovetskiy V.V., Shcherbakov E.N. *Modelirovanie logisticheskikh sistem lesnykh materialopotokov* [Modeling of logistic systems of forest material flows]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2011, no. 8, pp. 16–20.
- [4] Karpachev S.P., Shmyrev V.I., Shmyrev D.V. *Modelirovanie razgruzki pachek khlystov i ukladki ikh v plot splotochno-transportno-shtabelevochnymi agregatami* [Simulation of unloading packs of whips and placing them in a raft of rattan-transport-piling units]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2016, no. 1, pp. 57–59.
- [5] Shelgunov Yu.V. *Mashiny i oborudovanie lesozagotovok, lesosplava i lesnogo khozyaystva* [Machines and equipment for logging, timber floating and forestry]. Moscow: Lesnaya prom-st' [Forest industry], 1982, 520 p.
- [6] Routa, J., Asikainen, A., Björheden, R., Laitila, J., Röser, D. Forest energy procurement in Finland and Sweden // *WIREs Energy and Environment*, 2013, no. 2 (6), pp. 602–613.
- [7] Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Otsenka i sposoby povysheniya energeticheskoy effektivnosti proizvodstva toplivnoy shchepy* [Evaluation and ways to improve the energy efficiency of the production of fuel chips] *Materialy XXI vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Energetika: effektivnost', nadezhnost', bezopasnost'»*, Tomsk, TPU, 2–4 dekabrya 2015 g. [Proceedings of the XXI All-Russian Scientific-Technical Conference «Energy: Efficiency, Reliability, Safety», Tomsk, TPU, December 2–4, 2015]. Tomsk: Scan, 2015, v. 1, pp. 252–255.
- [8] Kundas S.P., Poznyak S.S., Rod'kin O.I., Sanikovich V.V., Lengfel'der E. *Ispol'zovanie drevesnoy biomassy v energeticheskikh tselyakh: nauchnyy obzor* [Use of woody biomass for energy purposes: a scientific review]. Minsk: MSEU named after A. Sakharov, 2008, 85 p.
- [9] *Rukovodstvo po provedeniyu sanitarno-ozdorovitel'nykh meropriyatiy. Prilozhenie 2 k Prikazu Rosleskhoza ot 29.12.2007 № 523* [Guide to sanitary and recreational activities. Appendix 2 to the Order of the Federal Forestry Agency of 29.12.2007 No. 523]. 32 p.
- [10] Borovikov V.P. *STATISTICA: iskusstvo analiza dannykh na komp'yutere. Dlya professionalov* [STATISTICA: the art of analyzing data on a computer. For professionals]. St. Petersburg: Peter, 2001, 656 p.

- [11] Karpachev S.P., Zaprudnov V.I., Bykovskiy M.A., Scherbakov E.N. Quantitative Estimation of Logging Residues by Line-Intersect Method. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2017, v. 38, no. 1, pp. 33–45
- [12] Spinelli R., Hartsough B. A survey of Italian chipping operations. *Biomass and Bioenergy*, 2001, v. 21 (6), pp. 433–444.
- [13] Magagnotti N., Spinelli R. Good practice guidelines for biomass production studies; WG2 Operations research and measurement methodologies. Sesto Fiorentino, Italy: COST Action FP-0902 and CNR Ivalsa, 2012, 52 p.
- [14] Eliasson, L., von Hofsten, H., Johannesson, T., Spinelli, R., Thierfelder, T. of *Forest Engineering*, 2015, v. 36 (1), pp. 11–17.
- [15] Spinelli R., Nati C., Magagnotti N. Recovering and the Eastern Alps: *The Croatian Journal of Forest Engineering*, 2007, v. 28 (1), pp. 1–9.
- [16] Matevž Mihelič, Raffaele Spinelli, Pope Production of Wood Chips from Logging Residue under Space-Constrained Conditions // *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2018, v. 39 (2), pp. 223–232.
- [17] Mokhirev A.P., Keryushchenko A.A. *Metodika formirovaniya tekhnologicheskoy tsepochki zagotovki delovoy i energeticheskoy drevesiny* [Methods of forming the technological chain of harvesting business and energy wood]. *Forest Messenger / Forestry Bulletin*, 2017, v. 21, no. 5, pp. 17–22. DOI: 10.18698 / 2542-1468-2017-5-17-22
- [18] Gerasimov Y., Karjalainen T. Energy resources in Northwest Russia // *Biomass and Bioenergy*, 2011, no. 35, pp. 1655–1662.
- [19] Rakopoulos C. D., Rakopoulos D. C., Giakoumis E. G., Dima-ratos A. M., Founti M. A. For example, sunflower, cottonseed, corn and olive. *Int. J. Green Energy Fuel*, 2011, v. 90, pp. 3439–3446.
- [20] Karpachev S.P. *Logistika. Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov beregovykh skladov* [Logistics. Modeling of technological processes of onshore warehouses]. Moscow: MGUL, 2005, 132 p.
- [21] *Traktorny protsessor HYPRO 300* [HYPRO 300 tractor processor]. URL: <https://i.ytimg.com/vi/9GrUKFSBRzw/maxresdefault.jpg> (accessed 01.06.2018).

Authors' information

Karpachev Sergey Petrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of BMSTU (Mytishchi branch), karpachevs@mail.ru

Zaprudnov Vyacheslav Il'ich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of BMSTU (Mytishchi branch), zaprudnov@mgul.ac.ru

Bykovskiy Maksim Anatol'evich — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Professor of BMSTU (Mytishchi branch), bykovskiy@mgul.ac.ru

Received 09.09.2018.

Accepted for publication 15.11.2018.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СВЯЗЕЙ И ЗАВИСИМОСТЕЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ОПТИМАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОРГАНИЗАЦИИ И ПЛАНИРОВАНИЯ РИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Д.В. Бурмистров¹, Р.В. Могутнов², О.В. Рябова³, Ю.А. Сафонова⁴,
А.В. Скрыпников⁴, С.В. Дорохин⁵, С.А. Поставничий⁵, Е.В. Чирков⁵

¹ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», 169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская, д. 13

²Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия им. профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», 394064, г. Воронеж, ул. Старых Большевиков, д. 54А

³ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 394006, г. Воронеж, ул. 20 лет Октября, д. 84

⁴ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, г. Воронеж, проспект Революции, д. 19

⁵ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

burmistrdv@mail.ru

Приоритетной задачей эмпирического изучения динамики дорожного строительства является установление вероятностных связей между его параметрами и определение условий формирования случайных факторов, оцениваемых критериями годовой и производственной ритмичности. Для анализа и обоснования основных направлений проводимых исследований выбран метод экспертных оценок, который можно отнести к одному из новейших и развивающихся методов анализа деятельности организаций, прогнозирования экспериментальных и исследовательских работ. Основные направления экспериментального исследования были обусловлены распределением предложенных групп факторов, влияющих на ритмичность строительства лесовозных дорог. Дальнейшее исследование было направлено на изучение связей и зависимостей системы «дорожное строительство», определяющих составление оптимальной программы работ; составление массива исходных данных, характеризующего ритмичность производства отдельных дорожно-строительных процессов; выявление вероятностных зависимостей, обуславливающих оптимальные методы организации ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог. Перечисленные направления экспериментального исследования по результатам проведенного экспертного анализа наиболее целесообразно проводить, основываясь на анализе производственно-хозяйственной и организационно-технологической деятельности лесопромышленных предприятий, выполняющих различные виды дорожно-строительных работ по отдельным календарным периодам. При выполнении экспериментальных исследований необходимо уделять внимание определению фактического уровня производства в рамках комплексного потока, служащего основой для разработки оптимальных методов организации и планирования строительства лесовозных автомобильных дорог. В соответствии с изложенным были спланированы и проведены экспериментальные исследования вероятностных связей и зависимостей, определяющих оптимальные методы организации и планирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог на базе лесопромышленных предприятий республики Коми.

Ключевые слова: лесовозные автомобильные дороги, метод экспертных оценок, ритмичное строительство

Ссылка для цитирования: Бурмистров Д.В., Могутнов Р.В., Рябова О.В., Сафонова Ю.А., Скрыпников А.В., Дорохин С.В., Поставничий С.А., Чирков Е.В. Исследование вероятностных связей и зависимостей, определяющих оптимальные методы организации и планирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 70–76. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-70-76

Изучение динамики строительства лесовозных автомобильных дорог направлено, прежде всего, на установление групп случайных факторов различного порядка, влияющих на ход сооружения лесовозных автомобильных дорог.

Цель работы

Учет влияния случайных факторов на ход строительства при проектировании организации и планировании дорожно-строительных работ для определения эффективности деятельности дорожно-строительных подразделений [1–6], установление вероятностных связей между па-

раметрами динамики дорожного строительства, роли и места их в формировании случайных факторов [7–12] оцениваются критериями годовой и производственной ритмичности.

Материалы и методы

Масштабность проблемы исследования организации и планирования строительства лесовозных автомобильных дорог требует установления первоочередных, наиболее важных и эффективных направлений ее решения [13–17]. С целью установления масштабов экспериментальных исследований, т. е. определения структурной единицы

управления производством, видов и объемов работ, подлежащих обследованию, а также с целью предварительного установления основных факторов, определяющих ритмичность, во время строительного сезона 2016 г. был проведен экспертный анализ организационно-технологической деятельности [18].

Метод экспертных оценок является одним из новейших и развивающихся методов анализа деятельности организаций, прогнозирования экспериментальных и исследовательских работ и может быть с успехом применен для предварительного анализа и обоснования основных направлений экспериментального исследования вопросов ритмичности строительства лесовозных автомобильных дорог. Метод получил широкое развитие в России [19–21], США [22] и других странах для прогнозирования деятельности организаций и отраслей хозяйства. Преимущество метода экспертных оценок заключается в возможности включения в число анализируемых вероятностных факторов таких показателей, по которым тяжело получить количественную информацию.

Результаты и обсуждение

В настоящем исследовании экспертный анализ организационно-технологической деятельности проведен на пяти лесопромышленных предприятиях.

Аналізу подлежали 10 выделенных факторов, влияющих на ритмичность дорожно-строительного производства и на потери рабочего времени.

В качестве экспертов были привлечены руководители дорожно-строительных хозяйств и отделов.

Группа экспертов каждого из обследуемых трестов состояла из 8–10 человек. Всего в качестве экспертов были приглашены 42 человека.

В карточках экспертного анализа деятельности лесопромышленных предприятий каждый из экспертов присуждал факторам по степени влияния их на ритмичность и потери рабочего времени ранги — P_{ij}^q , где P_{ij}^q — ранг, присужденный i -м экспертом j -му фактору в q -м лесопромышленном предприятии; i — номера экспертов, $i = 1, 2, \dots, n$, $n = 10$; j — число выделенных факторов, $j = 1, 2, \dots, m$, $m = 10$; q — количество обследованных трестов, $q = 1, 2, \dots, t$, $t = 5$.

Ранг «1» присуждался наиболее существенному фактору, т. е. фактору, который в наибольшей мере влияет на ритмичность производства, ранг «2» — менее важному и т. д.

Обработка результатов экспертного анализа произведена с учетом степени компетентности экспертов.

В ходе опроса экспертов выявлена средняя величина степени их компетентности. За базовую

степень (0) принята компетентность руководителя организаций (одного эксперта). Для сравнения рангов, присужденных группой экспертов одному и тому же фактору, введен «весовой коэффициент» компетентности B_i , представляющий собой десятичное выражение степени компетентности.

В соответствии с «весовым коэффициентом» по разработанному «правилу относительной компетентности» определены приведенные ранги факторов — Pnp_{ij}^q

$$Pnp_{ij}^q = P_{ij}^q + (P_{i_k}^{q_j} - P_{ij}^q)B_i, \quad (1)$$

где $P_{i_k}^{q_j}$ — ранг, присужденный наиболее компетентным экспертом i_k лесопромышленного предприятия j -му фактору в q -м тресте.

«Правило относительной компетенции» позволяет более точно распределить ранги между факторами. Контрольные суммы рангов в этом случае должны быть равны между собой

$$\sum_{j=1}^m P_{ij}^q = \sum_{j=1}^m Pnp_{ij}^q. \quad (2)$$

Оценка факторов по степени влияния на ритмичность производства O_j^q группой экспертов треста определена по формуле

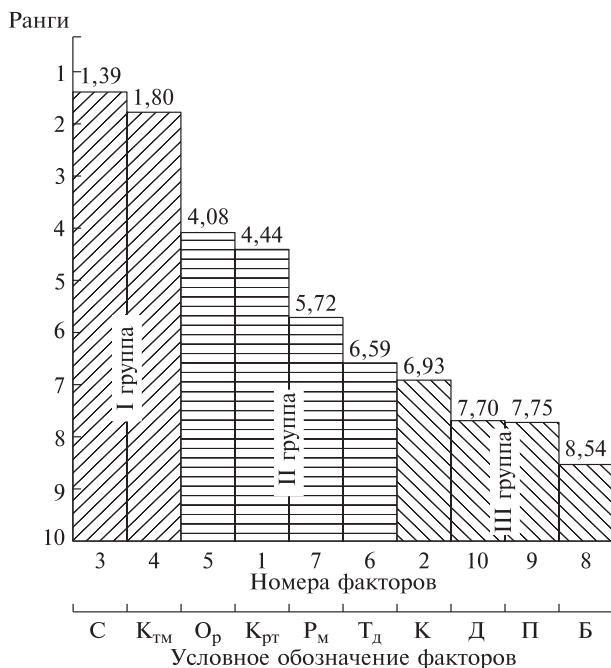
$$O_j^q = \frac{\sum_{j=1}^m Pnp_{ij}^q}{i}. \quad (3)$$

По такой схеме обработаны результаты экспертного анализа пяти лесопромышленных предприятий. На основании оценок факторов по трестам определены общие оценки выделенных факторов

$$O_j = \frac{\sum_{q=1}^t O_j^q}{q}. \quad (4)$$

Результаты опроса экспертов позволили распределить выделенные факторы степени влияния на ритмичность производства и потери рабочего времени в определенном порядке, что позволяет обосновать положения рабочей гипотезы в части установления для последующего экспериментального исследования структурной единицы управления производством и основных причин, вызывающих аритмию выполнения работ.

По результатам экспертного анализа построена гистограмма, которая дает наглядное представление о распределении факторов по степени влияния на потери рабочего времени и ритмичность производства.



Гистограмма распределения факторов по степени влияния на ритмичность производства и потери рабочего времени

Histogram of the distribution of factors by the degree of influence on the rhythm of production and loss of working time

В соответствии с результатами экспертного анализа все факторы, определяющие ритмичность строительства лесовозных автомобильных дорог, по масштабности воздействия их на производство, можно разделить на 3 группы (см. гистограмму):

I группа — недостатки и срывы в снабжении строек с материалами, изделиями, конструкциями С, недостаточное количество производственного транспорта и механизмов К_{тм}. Это группа «внешних» факторов;

II группа — недостаточный уровень организации производства в целом и в пределах рабочих мест в частности О_р, недостатки в комплектовании бригад рабочей силой и техникой К_{рт}, несвоевременность и срывы в ремонте и обслуживании механизмов Р_м, нарушения трудовой производственной дисциплины Т_д. Эти факторы названы «внутренними». Уменьшение удельного веса влияния на ритмичность производства «внутренних» факторов зависит от степени организации и планирования работ самой дорожно-строительной организации;

III группа — недостаточно высокий уровень квалификации рабочих К, отсутствие необходимой инструктивной и технической документации по организации производства и технологии строительства Д, ненадежность и неритмичность работы производственных предприятий П, недостатки в бытовом обслуживании рабочих и

санитарно-гигиенических условиях труда Б. Это «смешанные» факторы, интенсивность влияния которых на ход ритмичного производства зависит как от работы самой дорожно-строительной организации, так и от работы вышестоящих учреждений и организаций.

Выводы

На основании полученного распределения факторов, устанавливающих влияние каждой из выделенных групп на ритмичность, определены основные направления экспериментального исследования, к которым относятся:

- исследование связей и зависимостей системы «дорожное строительство», определяющих составление оптимальной программы работ;
- формирование массива исходных данных, характеризующего ритмичность производства отдельных дорожно-строительных процессов;
- определение вероятностных зависимостей, обуславливающих оптимальные методы организации ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог.

Как показывает экспертный анализ, указанные направления экспериментального исследования наиболее целесообразно проводить на базе анализа производственно-хозяйственной и организационно-технологической деятельности лесопромышленных предприятий, выполняющих различные виды дорожно-строительных работ по отдельным календарным периодам.

Особое внимание при проведении экспериментального исследования должно быть уделено установлению фактического уровня производства в пределах комплексного потока как основы для разработки оптимальных методов организации и планирования строительства лесовозных автомобильных дорог.

В соответствии с изложенным были спланированы и проведены экспериментальные исследования вероятностных связей и зависимостей, определяющих оптимальные методы организации и планирования ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог на базе лесопромышленных предприятий республики Коми.

Список литературы

- [1] Гулевский В.А., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Микова Е.Ю. Экспериментальная оценка сцепных качеств и ровности покрытий при различных состояниях автомобильных дорог и погодных условиях // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2018. Т. 11. № 1 (56). С. 112–118.
- [2] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327 (4), p. 042056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056

- [3] Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Морковин В.А. Модель режимов движения транспортных потоков на лесовозных автомобильных дорогах // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2014. № 2 (338). С. 61–67.
- [4] Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Трофимов Ю.И., Леонова М.Н. Техногенное воздействие мобильных сельскохозяйственных машин на почву // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2013. № 1. С. 51–56.
- [5] Dorokhin S.V. Mathematical model of statistical identification of car transport informational provision // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 2, pp. 511–515.
- [6] Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Борисов В.А. Лесотранспорт как система водитель–автомобиль–дорога–среда. М.: МГУЛ, 2010. 370 с.
- [7] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // Journal of Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, p. 032069.
- [8] Курьянов В.К., Афоничев Д.Н., Бурмистрова О.Н., Скрыпников А.В. Повышение удобства и безопасности движения лесовозных автопоездов на кривых малого радиуса // Вестник Центрально-Черноземного регионального отделения наук о лесе, 2002. Т. 4. № 1. С. 178–187.
- [9] Скворцова Т.В., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В. Обоснование ресурсных показателей при строительстве лесовозных автомобильных дорог // В мире научных открытий, 2011. № 9–6 (21). С. 1841–1848.
- [10] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Кондрашова Е.В., Бурмистров Д.В. Выбор критерия принятия решений при управлении информационным обеспечением автомобильного транспорта // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2016. № 4–4. С. 686–689.
- [11] Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Дорохин С.В., Логачев В.Н., Чистяков А.Г. Обоснование необходимого минимального уровня видимости дорожной разметки // Современные проблемы науки и образования, 2014. № 6. С. 48.
- [12] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Логойда В.С. Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог // Современные наукоемкие технологии, 2016. № 11–2. С. 305–309.
- [13] Умаров М.М., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В., Микова Е.Ю. Применение цифровых моделей местности для трассирования лесных автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2018. № 2 (262). С. 58–69.
- [14] Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В., Кондрашова Е.В. Автоматизированный расчет уровня загрязнения поверхностного стока на автомобильной дороге. Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия, 2003. 26 с.
- [15] Кондрашова Е.В., Скворцова Т.В., Скрыпников А.В., Логачев В.Н. Математическая модель процессов загрязнения почв и растений придорожной полосы лесных автомобильных дорог // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований, 2012. № 5. С. 117–119.
- [16] Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Скворцова Т.В., Кондрашова Е.В. Автоматизированный расчет уровня параметрического загрязнения окружающей среды объектами автомобильно-транспортного комплекса. Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2003. 20 с.
- [17] Поляков Ю.А., Курьянов В.К., Скрыпников А.В. Оценка транспортно-эксплуатационных качеств горных лесовозных автомобильных дорог в системе автоматизированного проектирования. Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2001. 149 с.
- [18] Скрыпников А.В. Методы построения эпюр скорости как основы оценки соответствия проекта дороги требованиям движения. Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2001. 17 с.
- [19] Курьянов В.К., Рябова О.В., Скрыпников А.В., Кондрашова Е.В., Тарарыков А.В. Моделирование влияния проектируемых дорожных условий на эмиссию токсичных веществ // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского, 2008. Т. 2. № 3 (13). С. 180–184.
- [20] Рябова О.В., Курьянов В.К., Скрыпников А.В. Обеспечение безопасности на различных участках автомобильных дорог // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия Технические науки, 2004. № S9. С. 198–202.
- [21] Михайлулов Е.А., Курьянов В.К., Скрыпников А.В. Учет ровности и шероховатости покрытий в тяговых расчетах // Лесное хозяйство Поволжья: Межвузовский сб. науч. работ. Саратов: Саратовский государственный аграрный ун-т им. Н.И. Вавилова, 2002. С. 583–586.
- [22] Заец О.С., Скрыпников А.В., Чернышова Е.В. Оценка эффективности системы защиты информации автоматизированной системы проектирования сложных многокомпонентных продуктов // Междисциплинарные исследования в области математического моделирования и информатики: Сб. тр. 5-й науч.-практ. интернет-конф. Тольятти, Тольяттинский гос. ун-т, 27–28 января 2015 г. Ульяновск: SIMJET, 2015. С. 31–38.

Сведения об авторах

Бурмистров Дмитрий Валерьевич — канд. техн. наук, научный сотрудник ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет», burmistrdrv@mail.ru

Могутнов Роман Викторович — научный сотрудник, Военный учебно-научный центр Военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», r-mogutnov@mail.ru

Рябова Ольга Викторовна — д-р техн. наук, профессор, профессор кафедры строительства и эксплуатации автомобильных дорог ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» (ВГТУ), esodorvrm@mail.ru

Сафонова Юлия Александровна — канд. техн. наук, доцент кафедры высшей математики и информационных технологий ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», kulakova7@yandex.ru

Скряпников Алексей Васильевич — д-р техн. наук, декан факультета «Управление и информатика в технологических системах» ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», skrypnikovvsafe@mail.ru

Дорохин Сергей Владимирович — д-р техн. наук, доцент, декан автомобильного факультета, профессор кафедры автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», dsvvtn@yandex.ru

Поставничий Сергей Алексеевич — аспирант кафедры автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», dsvvtn@yandex.ru

Чирков Евгений Викторович — аспирант кафедры автомобилей и сервиса ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», dsvvtn@yandex.ru

Поступила в редакцию 04.08.2018.

Принята к публикации 27.11.2018.

INVESTIGATION OF PROBABILISTIC RELATIONS AND DEPENDENCIES DETERMINING OPTIMUM METHODS OF ORGANIZATION AND PLANNING OF RHYTHMIC CONSTRUCTION OF HAULAGE ROADS

D.V. Burmistrov¹, R.V. Mogutnov², O.V. Ryabova³, Yu.A. Safonova⁴, A.V. Skrypnikov⁴, S.V. Dorokhin⁵, S.A. Postavichy⁵, E.V. Tchirkov⁵

¹Ukhta State Technical University, 13, Pervomaiskaya st., 169300, Ukhta, Republic of Komi, Russia

²Military Educational and Scientific Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», 54A, Old Bolshevikov st., 394064, Voronezh, Russia

³Voronezh State Technical University, 84, 20 years of October st., 394006, Voronezh, Russia

⁴Voronezh State University of Engineering Technologies, 19, Revolution st., 394036, Voronezh, Russia

⁵Voronezh State Forestry University G.F. Morozov, 8, Timiryazev st., 394087, Voronezh, Russia

burmistrdv@mail.ru

The priority task of empirical study of the dynamics of road construction is the establishment of probabilistic links between its parameters and the determination of the conditions for the formation of random factors estimated by the criteria of annual and production rhythm. For the analysis and substantiation of the main directions of the conducted studies, a method of expert assessments has been chosen, which can be attributed to one of the newest and most advanced methods for analyzing the activities of organizations, forecasting experimental and research works. The main directions of the experimental study were determined on the basis of the distribution of the proposed groups of factors influencing the rhythm of the construction of logging roads. A further study was aimed at studying the connections and dependencies of the «road construction» system, which determine the formulation of the optimal program of work; compilation of an array of initial data characterizing the rhythmicity of the production of individual road construction processes; the identification of probabilistic dependencies that determine the optimal methods for organizing the rhythmic construction of logging roads. The listed directions of the pilot study based on the results of the expert analysis are most expedient to conduct based on the analysis of production, economic and organizational and technological activities of timber enterprises that perform various types of road construction work for individual calendar periods. The main attention in the implementation of experimental research should be given to determining the actual level of production within the integrated flow, which serves as the basis for the development of optimal methods for organizing and planning the construction of timber roads. In accordance with the above, experimental studies of probabilistic relationships and dependencies determining optimal methods for organizing and planning the rhythmic construction of logging roads on the basis of forestry enterprises of the Komi Republic were planned and conducted.

Keywords: logging roads, method of peer reviews, rhythmic construction

Suggested citation: Burmistrov D.V., Mogutnov R.V., Ryabova O.V., Safonova Yu.A., Skrypnikov A.V., Dorokhin S.V., Postavichy S.A., Tchirkov E.V. *Issledovanie veroyatnostnykh svyazey i zavisimostey, opredelyayushchikh optimal'nye metody organizatsii i planirovaniya ritmichnogo stroitel'stva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog* [Investigation of probabilistic relations and dependencies determining optimum methods of organization and planning of rhythmic construction of haulage roads]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 70–76. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-70-76

References

- [1] Gulevskiy V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Ehksperimental'naya otsenka stsepykh kachestv i rovnosti pokrytiy pri razlichnykh sostoyaniyakh avtomobil'nykh dorog i pogodnykh usloviyakh* [Experimental evaluation of coupling properties and smoothness of coatings under various conditions of highways and weather conditions]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University], 2018, v. 11, no. 1 (56), pp. 112–118.

- [2] Kozlov V.G., Gulevsky V.A., Skrypnikov A.V., Logoyda V.S., Menzhulova A.S. Method of Individual Forecasting of Technical State of Logging Machines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2018, v. 327 (4), p. 042056. DOI: 10.1088/1757-899X/327/4/042056
- [3] Kur'anov V.K., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Morkovin V.A. Model' rezhimov dvizheniya transportnykh potokov na lesovoznykh avtomobil'nykh dorogakh [A model of traffic flow regimes on logging roads]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal [Bulletin of Higher Educational Institutions. Forest Journal], 2014, no. 2 (338), pp. 61–67.
- [4] Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Trofimov Yu.I., Leonova M.N. Tekhnogennoe vozdeystvie mobil'nykh sel'skokhozyaystvennykh mashin na pochvu [Technogenic impact of mobile agricultural machines on soil]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta [Bulletin of the Voronezh State Agrarian University], 201, no. 1, pp. 51–56.
- [5] Dorokhin S.V. Mathematical model of the statistical identification of car transport informational provision. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2017, v. 12, no. 3, pp. 185–199.
- [6] Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Borisov V.A. *Lesotransport kak sistema voditel'-avtomobil'-doroga-sreda* [Lesotransport as a driver-car-road-environment system: training manual for universities]. Moscow: MSFU, 2010. 370 p.
- [7] Kozlov V.G. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. Journal of Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, p. 032069.
- [8] Kuryanov V.K., Afonichev D.N., Burmistrova O.N., Skrypnikov A.V. Povyshenie udobstva i bezopasnosti dvizheniya lesovoznykh avtopoezdov na krivykh malogo radiusa [Increase of convenience and safety of movement of logging road trains on curves of small radius]. Vestnik Central'no-Chernozemnogo regional'nogo otdeleniya nauk o lese [Bulletin of the Central Black Earth Regional Division of Forest Sciences], 2002, v. 4, no. 1, pp. 178–187.
- [9] Skvortsova T.V., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V. Obosnovanie resursnykh pokazateley pri stroitel'stve lesovoznykh avtomobil'nykh dorog [Justification of resource indicators in the construction of logging roads]. V mire nauchnykh otkrytiy [In the World of Scientific Discoveries], 2011, no. 9–6 (21), pp. 1841–1848.
- [10] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Kondrashova E.V., Burmistrov D.V. Vybore kriteriya prinyatiya resheniy pri upravlenii informatsionnym obespecheniem avtomobil'nogo transporta [Choice of the criterion for decision-making in the management of information support of motor transport]. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2016, no. 4–4, pp. 686–689.
- [11] Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Dorokhin S.V., Logachev V.N., Chistyakov A.G. *Obosnovanie neobhodimogo minimal'nogo urovnya vidimosti dorozhnoy razmetki* [Justification of the required minimum visibility level of the road marking]. Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya [Modern problems of science and education], 2014, no. 6, p. 48.
- [12] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Logoida V.S. *Metodika opredeleniya vliyaniya prirodnykh faktorov na stoimost' stroitel'stva zemlyanogo polotna lesovoznykh dorog* [Methodology for determining the influence of natural factors on the cost of building roadbeds of logging roads]. Sovremennyye naukoemkie tekhnologii [Modern science-intensive technologies], 2016, no. 11–2, pp. 305–309.
- [13] Umarov M.M., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E. Yu. Primeneniye tscifrovyykh modeley mestnosti dlya trassirovaniya lesnykh avtomobil'nykh dorog [Application of digital terrain models for tracing forest roads]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal [Bulletin of Higher Educational Institutions. Forest Journal], 2018, no. 2 (262), pp. 58–69.
- [14] Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Skvortsova T.V., Kondrashova E.V. *Avtomatizirovannyi raschet urovnya zagryazneniya poverkhnostnogo stoka na avtomobil'noy doroge* [Automated calculation of the level of pollution of surface runoff on an automobile road]. Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. akad, 2003, p. 26.
- [15] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Skripnikov A.V., Logachev V.N. *Matematicheskaya model' processov zagryazneniya pochvy i rasteniy pridorozhnoy polosy lesnykh avtomobil'nykh dorog* [Mathematical model of processes of pollution of soils and plants of a roadside strip of forest highways]. Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy [International Journal of Applied and Fundamental Research], 2012, no. 5, pp. 117–119.
- [16] Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Skvortsova T.V., Kondrashova E.V. *Avtomatizirovannyi raschet urovnya parametricheskogo zagryazneniya okruzhayushchey sredy ob'ektami avtomobil'no-transportnogo kompleksa* [Automated calculation of the level of parametric pollution of the environment by the objects of the automotive transport complex]. Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. akad, 2003, no. 20.
- [17] Polyakov A.A., Kuryanov V.K., Skripnikov A.V. *Ocenka transportno-ehkspluatatsionnykh kachestv gornyykh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Estimation of transport-operational qualities of mountain forest roads in the computer-aided design system]. Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. un-t im. G.F. Morozova., 2001, 149 p.
- [18] Skrypnikov A.V. *Metody postroyeniya ehpyur skorosti kak osnovy ocenki sootvetstviya proekta dorogi trebovaniyam dvizheniya* [Methods for constructing speed diagrams as a basis for assessing the compliance of a road project with traffic requirements]. Voronezh: Voronezh. gos. lesotekhn. un-t im. G.F. Morozova, 2001, p. 17.
- [19] Kuryanov V.K., Ryabova O.V., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Tararykov A.V. *Modelirovaniye vliyaniya proektiruemykh dorozhnykh usloviy na ehmissiyu toksichnykh veshchestv* [Modeling the influence of projected road conditions on the emission of toxic substances]. Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo [Questions of modern science and practice. University of I.N. AND. Vernadsky], 2008, v. 2, no. 3 (13), pp. 180–184.
- [20] Ryabova O.V., Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V. *Obespecheniye bezopasnosti na razlichnykh uchastkakh avtomobil'nykh dorog* [Providing security on various sections of highways]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki [Izvestiya Vysshikh Uchebnykh Zavedenii. North-Caucasian region. Series: Engineering], 2004, no. S9, pp. 198–202.
- [21] Mikhailusov E.A., Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V. *Uchet rovnosti i sherohovatosti pokrytiy v tyagovykh raschetakh* [Allowance for the roughness and roughness of coatings in traction calculations]. Lesnoe hozyaystvo Povolzh'ya. Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh rabot [Forestry of the Volga region. Intercollegiate collection of scientific works], 2002, pp. 583–586.
- [22] Zaets O.S., Skripnikov A.V., Chernyshova E.V. *Ocenka ehffektivnosti sistemy zashchity informatsii avtomatizirovannoy sistemy proektirovaniya slozhnykh mnogokomponentnykh produktov* [Evaluation of the effectiveness of the information protection system of the automated system for designing complex multi-component products]. Trudy 5 nauch.-prakt. internet-konf. «Mezhdisciplinarnyye issledovaniya v oblasti matematicheskogo modelirovaniya i informatiki» [5th scientific-practical. conf. «Interdisciplinary research in the field of mathematical modeling and informatics»]. Tolyatti, 2015, pp. 31–38.

Authors' information

Burmistrov Dmitriy Valer'evich — Cand. Sci. (Tech.), Assistant of the Department of Engineering of Technological Machines and Equipment Ukhta State Technical University, burmistrdv@mail.ru

Mogutnov Roman Viktorovich — Teacher Military educational and scientific center of the Air Force «The Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», r-mogutnov@mail.ru

Ryabova Ol'ga Viktorovna — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Construction and Operation of Highways at the Voronezh State Technical University, ecorvrn@mail.ru

Safonova Yulia Aleksandrovna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the Department of Higher Mathematics and Information Technologies of the Voronezh State University of Engineering Technologies, kulakova7@yandex.ru

Skrypnikov Aleksey Vasil'yevich — Dr. Sci. (Tech.), Dean of the Faculty «Management and Informatics in Technological Systems» at the Voronezh State University of Engineering Technologies, skrypnikovvsafe@mail.ru

Dorokhin Sergey Vladimirovich — Dr. Sci. (Tech.), Associated Professor, Dean of the Automobile Faculty, Professor of the Department of Automobiles and Service of the Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, dsivr@yandex.ru

Postanichy Sergey Alekseevich — Post Graduated of the Department of Automobiles and Service of the Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, dsivr@yandex.ru

Chirkov Evgeniy Viktorovich — Post Graduated of the Department of Automobiles and Service of the Voronezh State Forestry University named after G.F. Morozov, dsivr@yandex.ru

Received 04.08.2018.

Accepted for publication 27.11.2018.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТОИМОСТИ СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Л.Я. Громская¹, В.В. Артемьев¹, Д.М. Левушкин²

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова», 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский переулок, д. 5

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

gromskaya.stl@gmail.com

Разработка технико-экономических показателей, определяющих затраты на строительство лесных автомобильных дорог, должна базироваться на основе современных экономических и инженерных расчетов. В условиях практического отсутствия производственных и плановых нормативов, роль сметных норм значительно повышается. Цель работы — оценка стоимости строительства лесных автомобильных дорог на базе сметных нормативов и расценок. В статье предлагается использовать автоматизированный расчет определения стоимости строительства земляного полотна и дорожной одежды на основе сметно-нормативной базы. Исходными данными являются природно-производственные условия и категория дороги. Расчеты объемов дорожно-строительных работ выполнены в MSExcel, а сметные расчеты в программе «Сметный калькулятор 3.3». Разработанная методика учитывает типы местности по условиям увлажнения, вид и категории грунтов по трудности разработки; технологию производства земляных работ; хозяйственный способ устройства дорожной одежды. Результатом методики являются показатели стоимости 1 км земляного полотна и дорожной одежды для лесных дорог шириной 9,0 м, 5,5 м и 5,0 м. Подтверждается влияние на стоимостные показатели таких факторов, как вид грунта земляного полотна, объемы работ, дальность транспортировки дорожно-строительных материалов и способ производства строительных работ. Существенное изменение стоимости строительства дорожной одежды происходит при наличии или отсутствии местных дорожно-строительных материалов. Полученные технико-экономические показатели необходимы для оценки экономической эффективности инвестиций в строительство лесных автомобильных дорог. Предлагаемая методика может быть использована для разработки отраслевых нормативов затрат проектно-исследовательскими организациями.

Ключевые слова: лесные дороги, строительство лесных дорог, стоимость строительства, сметный расчет

Ссылка для цитирования: Громская Л.Я., Артемьев В.В., Левушкин Д.М. Методика определения стоимости строительства лесных автомобильных дорог // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 77–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-77-83

Разработка показателей для перспективных и текущих планов должна осуществляться на основе нормативов затрат, базирующихся на экономических и инженерных расчетах. При этом недостаточно будет установление плановых заданий исходя из сложившихся изменений соответствующих данных.

Одним из наиболее проблемных мест в лесном дорожном строительстве является формирование нормативов. Нормы служат для определения капитальных затрат, себестоимости продукции и потребности материально-технических ресурсов при обосновании целесообразности создания новых или модернизации существующих лесозаготовительных предприятий, при обосновании генеральных схем транспортного освоения региона или целесообразности создания отдельных лесных дорог.

Стоимость строительства элементов автомобильных дорог определяется на основе сметно-нормативной базы [11–16]. Например, в нее входят территориальные или федеральные единичные расценки на отдельные строительные работы (ТЕР-2001, ФЕР-2001), сборники базовых и текущих средних сметных цен на материалы, из-

делия и конструкции (ССЦ, ТССЦ). При определении стоимости используют следующие методы составления смет: ресурсный; ресурсно-индексный; базисно-индексный; на основе укрупненных нормативов [11, 12]. Сметные нормы (нормативы) относятся к экономическим нормативам. Они необходимы при организации и планировании производства. Сметное ценообразование и нормы постоянно изменяются, актуальным является определение реальных затрат ресурсным методом. При отсутствии норм на новые операции и материалы продолжают использовать нормативы 1984 г., например сборники единых норм и расценок (ЕНиР) на строительные работы. Такой подход является недопустимым, поскольку эти нормы не соответствуют реальности.

При разработке плановых документов в лесной отрасли стоимостные показатели лесных дорог чаще принимаются по укрупненным данным, что не обеспечивает реальных затрат. Широкое использование автоматизированных систем позволяет быстро и точно определить показатели затрат, а на основе накопленных данных создать информационную систему стоимостных показателей.

Обзор существующих методик [1, 3–5, 8, 9, 17–24] показывает, что в настоящее время отсутствуют отдельные нормативы на строительство, ремонт и содержание лесных дорог. Существенным недостатком является использование в большинстве случаев стоимостных показателей, взятых из ОНТП 02–85 [7], с пересчетом в цены текущего года. Таким образом, продолжается использование нормативных данных 30-летней давности. В ОНТП 02-85 приводятся технико-экономические показатели, которые рассчитаны в базисных ценах 1984 г., где стоимость возведения земляного полотна рассчитана для II группы грунтов по трудности разработки и для трех категорий местности (1 — равнинная и слабопересеченная, 2 — пересеченная, 3 — холмистая и предгорная). К табличным показателям стоимости введены поправки на группу грунтов, расход песчано-гравийной смеси и др. Стоимость устройства дорожной одежды учитывает дальность подвозки строительных материалов [7].

Предлагаемая методика определения затрат на строительство лесных автомобильных дорог включает затраты на устройство земляного полотна и дорожной одежды с использованием существующей сметно-нормативной базы. Приведены рассчитанные показатели затрат на устройство 1 км земляного полотна и дорожной одежды различных вариантов в зависимости от типов местности по условиям увлажнения, категории грунтов по трудности разработки и способа производства земляных работ для лесных дорог постоянного действия.

Цель работы

Цель работы — оценка стоимости строительства лесных автомобильных дорог на базе сметных нормативов и расценок.

Расчет стоимости предлагается вести в следующей последовательности.

1. Подготовка исходных данных.
2. Расчет объемов земляных работ.
3. Расчет объемов работ по устройству дорожной одежды.
4. Автоматизированный расчет затрат на сооружение земляного полотна и дорожной одежды.

Материалы и методы

Основными исходными данными являются: 1) общие сведения — район проектирования, дорожно-климатическая зона, тип местности по условиям увлажнения, грунт земляного полотна, группа грунтов по трудности разработки; 2) данные для расчета объемов земляного полотна, в том числе средняя высота насыпи и способ производства земляных работ (бульдозером, экс-

каватором или автовозкой на заболоченной территории); 3) данные для расчета объемов работ по устройству дорожной одежды.

Все расчеты сгруппированы по 5 вариантам условий для лесных дорог при ширине земляного полотна 9,0 м, 5,5 м и 5,0 м.

В данном примере расчеты объемов работ выполнены в MSExcel. Сметный расчет выполнен в программе «Сметный калькулятор 3.3» базисно-индексным методом на основе ФЕР-2001 с пересчетом в цены III квартала 2017 г. для Ленинградской области. Были составлены локальные сметы на возведение земляного полотна и устройство дорожной одежды для каждого варианта и соответствующей ширины дороги.

Технология возведения земляного полотна принята в зависимости от грунтов и требуемой минимальной высоты насыпи. Основные операции при возведении земляного полотна: разработка грунта, планировка поверхностей, уплотнение и планировка откосов и полотна насыпи.

Устройство дорожной одежды выполняется хозяйственным способом при наличии дорожно-строительных материалов в карьере и дальности транспортировки песка до 4 км, а гравийного материала — 4 и 20 км. Основные операции при устройстве дорожной одежды: разработка дорожно-строительных материалов в карьерах, перевозка материалов, планировка площадей, уплотнение и окончательная планировка.

Результаты и обсуждение

Стоимость строительства земляного полотна и дорожной одежды представлены в табл. 1–4.

Стоимость строительства 1 км дороги приводится в табл. 5 и на рис. 1 и 2.

Полученные результаты расчетов подтверждают, что объемы земляных работ зависят, прежде всего, от вида грунта и увеличиваются с увлажненностью грунтов. Затраты на возведение земляного полотна во многом зависят от способа производства земляных работ, т. е. комплекта машин при производстве работ. Разработка грунтов экскаватором (1 и 2 варианты), экскаватором + автосамосвалом (5 вариант) дороже, чем бульдозером (3 и 4 варианты).

Затраты по устройству дорожной одежды зависят во многом от дальности транспортировки дорожно-строительных материалов и способа выполнения работ (хозяйственный или подрядный). Здесь под хозяйственным способом подразумевается наличие строительных материалов и машин у предприятия, при подрядном способе — дорожно-строительные материалы приобретаются отдельно, а строительные операции выполняются подрядной организацией.

Т а б л и ц а 1

Стоимость строительства 1 км земляного полотна в зависимости от типа местности и категории грунта по трудности разработки, руб.

The cost of construction 1 km of subgrade depending on the type of terrain and the category of soil on the difficulty of development, rub.

Ширина дороги, м	Профильный объем земляных работ, м ³					Стоимость строительства 1 км земляного полотна, руб.				
	Варианты условий					Варианты условий				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
	Тип местности по увлажнению					Тип местности по увлажнению				
	1	1	2	2	3	1	1	2	2	3
	Категория грунта земляного полотна по трудности разработки					Категория грунта земляного полотна по трудности разработки				
I	I	II	II	I	I	I	II	II	I	
9,0	6171	7432	10 126	9676	15 437	347 214	393 332	193 176	192 271	1 905 713
5,5	3856	4714	6453	6407	10 292	203 752	247 959	167 476	166 570	1 266 482
5,0	3537	4337	5945	5957	9569	197 847	227 665	153 798	154 033	1 176 532

Т а б л и ц а 2

Стоимость строительства 1 км дорожной одежды с гравийным покрытием при ширине дороги 9,0 м

The cost of construction of 1 km of pavement with a gravel surface with a road width of 9.0 m

Показатели	Значение показателей				
Варианты условий	1	2	3	4	5
Тип местности по увлажнению	1	1	2	2	3
Категория грунта земляного полотна по трудности разработки	I	I	II	II	I
Расход материалов на 1 км дорожной одежды, м ³ : подстилающего слоя из песка песчано-гравийной смеси	0 2218	2218 3545	4712 3342	4712 3342	0 1637
Стоимость строительства 1 км дорожной одежды, руб., при дальности подвозки песчано-гравийного материала, км:					
4,0	312 494	769 839	1 063 578	1 063 578	234 799
20,0	599 865	1 216 231	1 496 500	1 496 500	446 949

Т а б л и ц а 3

Стоимость строительства 1 км дорожной одежды с гравийным покрытием при ширине дороги 5,5 м

The cost of construction of 1 km of pavement with gravel cover with a road width of 5.5 m

Показатели	Значение показателей				
Варианты условий	1	2	3	4	5
Тип местности по увлажнению	1	1	2	2	3
Категория грунта земляного полотна по трудности разработки	I	I	II	II	I
Расход материалов на 1 км дорожной одежды, м ³ : подстилающего слоя из песка песчано-гравийной смеси	0 943	1409 943	1409 1269	1409 1269	0 943
Стоимость строительства 1 км дорожной одежды, руб., при дальности подвозки песчано-гравийного материала, км:					
4,0	135 792	317 867	361 508	361 508	135 792
20,0	257 955	440 030	525 923	525 923	257 955

Таблица 4

**Стоимость строительства 1 км дорожной одежды с гравийным покрытием
при ширине дороги 5,0 м**

The cost of construction of 1 km of pavement with gravel cover with a road width of 5.0 m

Показатели	Значение показателей				
	1	2	3	4	5
Варианты условий	1	2	3	4	5
Тип местности по увлажнению	1	1	2	2	3
Категория грунта земляного полотна по трудности разработки	I	I	II	II	I
Расход материалов на 1 км дорожной одежды, м ³ : подстилающего слоя из песка песчано-гравийной смеси	0 875	1294 875	1294 926	1294 926	0 875
Стоимость строительства 1 км дорожной одежды, руб., при дальности подвозки песчано-гравийного материала, км:					
4,0	125 829	293 013	299 838	299 838	125 829
20,0	239 203	406 394	419 843	419 843	239 203

Таблица 5

**Стоимость строительства 1 км земляного полотна и дорожной одежды
в зависимости от типа местности и категории грунта по трудности разработки, руб.**

**The cost of building 1 km of roadbed and pavement, depending on the type of terrain
and the category of soil on the difficulty of development, rub.**

Показатели	Значение показателей				
	1	2	3	4	5
Варианты условий	1	2	3	4	5
Тип местности по увлажнению	1	1	2	2	3
Категория грунта земляного полотна по трудности разработки	I	I	II	II	I
Ширина дороги, м	Дальность подвозки песчано-гравийного материала 4 км				
9,0	659 708	1 163 171	1 256 754	1 255 849	2 140 512
5,5	339 544	565 826	528 984	528 078	1 402 274
5,0	323 676	520 678	453 636	453 871	1 302 361
Ширина дороги, м	Дальность подвозки песчано-гравийного материала 20 км				
9,0	947 079	1 609 563	1 689 676	1 688 771	2 352 662
5,5	461 707	687 989	693 399	692 493	1 524 437
5,0	437 050	634 059	573 641	573 876	1 415 735

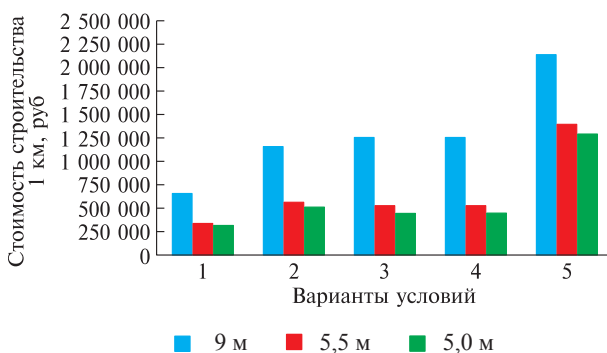


Рис. 1. Зависимость стоимости строительства 1 км дороги от типа местности и категории грунта по трудности разработки при дальности подвозки гравийного материала 4 км

Fig. 1. The dependence of the construction cost of 1 km of the road on the type of terrain and category of soil on the difficulty of development when the range of transportation of gravel material 4 km

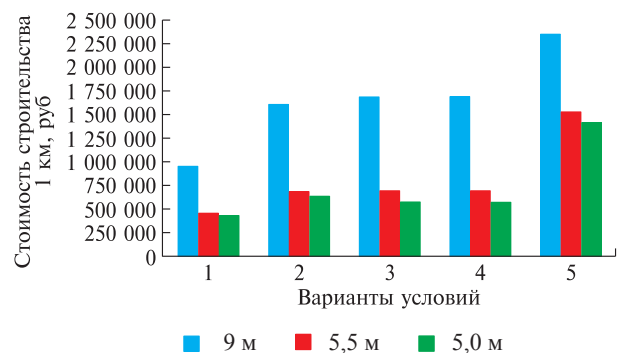


Рис. 2. Зависимость стоимости строительства 1 км дороги от типа местности и категории грунта по трудности разработки при дальности подвозки гравийного материала 20 км

Fig. 2. The dependence of the construction cost of 1 km of the road on the type of terrain and category of soil on the difficulty of developing when the range of transportation of gravel material 20 km

Полученные суммарные затраты на строительство земляного полотна и дорожной одежды варьируются от 323 676 до 2 352 662 руб., что говорит о том, что стоимость автомобильной дороги зависит от множества факторов. Полученные показатели являются минимальными, так как были приняты меньшие значения влияющих факторов.

Выводы

Предлагаемая последовательность определения затрат на строительство лесных дорог учитывает тип местности по условиям увлажнения; категорию грунтов по трудности разработки; серповидный поперечный профиль дорожной одежды; технологию производства земляных работ; хозяйственный способ устройства дорожной одежды с гравийным покрытием. Затраты на устройство земляного полотна и дорожной одежды рассчитаны по действующим сметным нормам. В методике предлагается использовать автоматизированный расчет дорожных одежд, объемов работ и сметной стоимости, что позволяет получить точные результаты за короткое время. С помощью данной методики можно сформировать информационную систему технико-экономических показателей для лесопромышленного комплекса.

Список литературы

- [1] Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Ломакин Д.В., Логойда В.С. Методика определения влияния природных факторов на стоимость строительства земляного полотна лесовозных дорог // Современные наукоемкие технологии, 2016. № 11–2. С. 305–309.
- [2] ВСН 01–82. Инструкция по проектированию лесозаготовительных предприятий. Утверждены Приказом Минлесбумпрома СССР от 10 августа 1982 г. № 236. Ленинград: Гипролестранс, 1983. 187 с.
- [3] Иванова О.А. Повышение эффективности эксплуатации парка автопоездов при освоении территориально распределенных лесных ресурсов: дис. ... канд. техн. наук. Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2014.
- [4] Катаров В.К., Рожин Д.В., Туюнен М.В., Редозубов И.В. Расчет стоимости строительства альтернативных участков лесовозных дорог // Транспортное дело России, 2010. № 2(75). С. 106–111.
- [5] Кузнецов А.В., Иванова О.А. Методика оценки затрат на строительство и эксплуатацию лесовозных дорог // Наука и бизнес: пути развития, 2012. № 7(13). С. 83–85.
- [6] ОДН 218.046–01. Проектирование нежестких дорожных одежд. М.: Росавтодор, 2001. 61 с.
- [7] ОНТП 02–85. Общесоюзные нормы технологического проектирования лесозаготовительных предприятий. Л.: Гипролестранс, 1986. 232 с.
- [8] Решетова Е.М. Сравнение стоимости строительства автомобильных дорог в России и в странах мира // Экономика. Налоги. Право, 2015. № 4. С. 118–124.
- [9] Савельев В.В. Методика и математические модели определения стоимости строительства лесовозных автодорог // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия Лес. Экология. Природопользование. Йошкар-Ола, 2009. № 1. С. 52–58.
- [10] Салминен Э.О., Грехов Г.Ф., Тюрин Н.А. Транспорт леса. Т. 1: Сухопутный транспорт. М.: Академия, 2009. 368 с.
- [11] Составление смет в строительстве на основе сметно-нормативной базы 2001 года: практическое пособие / под общ. ред. П.В. Горячкина. М.; СПб.: ПЦЭС, 2003. 560 с.
- [12] Ардзинов В.Д., Барановская Н.И., Курочкин А.И. Сметное дело в строительстве: самоучитель. СПб.: Питер, 2017. 464 с.
- [13] МДС 81–35.2004. Методика определения стоимости строительной продукции на территории Российской Федерации. Принята и введена в действие с 09.03.2004 г. Постановлением Госстроя России от 05.03.2004 г. № 15/1. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200035529> (дата обращения 15.10.2017).
- [14] МДС 81–36.2004. Указания по применению ФЕР–2001 на строительные и специальные строительные работы. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200036886> (дата обращения 15.10.2017).
- [15] МДС 81–28.2001. Указания по применению государственных элементных сметных норм на строительные и специальные строительные работы (ГЭСН–2001). Госстрой России, 2001. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200028969> (дата обращения 15.10.2018).
- [16] Сборник средних сметных цен на основные материалы, изделия и конструкции, применяемые в строительстве (СССЦ). СПб.: СПбГУ «Центр мониторинга и экспертизы цен». URL: <http://docs.cntd.ru/document/964800047> (дата обращения 15.10.2017).
- [17] Рожин Д.В. Обоснование комплекса ремонтно-строительных мероприятий сети лесовозных дорог лесозаготовительного района: автореф. дис. ... канд. техн. наук. ПетргУ, 2012. 21 с.
- [18] Stückelberger J.A. A weighted-graph optimization approach for automatic location of forest road networks, ETH. Zürich. Diss no. 17366, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Zürich, 2007. 127 p.
- [19] Stückelberger J.A., Heinimann H.R. and Burlet E.C. Modelling spatial variability in the life-cycle costs of low-volume forest roads // European Journal of Forest Research, 2006, vol. 125, p. 377–390.
- [20] Stückelberger J.A., Heinimann H.R., Chung W., Ulber M. Automatic road-networkplanning for multiple objectives // Council on Forest Engineering: Annual Conference, Coeur d'Alene / Eds. W. Chung, H.S. Han, Missoula. USA: University of Montana, 2006, pp. 233–248.
- [21] Akay A. A new methodology in designing forest roads // Turkish J. Agricul. Forest, 2004, v. 28, pp. 273–279.
- [22] Jong J.C., Schonfeld P. An Evolutionary Model for Simultaneously Optimizing Three-Dimensional Highway Alignments // Transportation Research. Part B, 2003, v. 37, pp. 107–128.
- [23] Liatsis P., Tawfik H.M. Two-Dimensional Road Shape Optimisation Using Genetic Algorithms // Mathematics and Computers in Simulation, 1999, v. 51, pp. 19–31.
- [24] Akay A.E. Minimizing Total Costs of Forest Roads with Computer-Aided Design Model // Academy Proceedings in Engineering Sciences (SADHANA), 31(5), 2006, pp. 621–633.

Сведения об авторах

Громская Любовь Яковлевна — канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного транспорта ФГБОУ ВО СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, gromskaya.stl@gmail.com

Артемьев Владислав Владимирович — канд. техн. наук, старший преподаватель кафедры промышленного транспорта ФГБОУ ВО СПбГЛТУ им. С.М. Кирова, artemev.vladislav@gmail.com

Левушкин Дмитрий Михайлович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), levushkin@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 28.11.2017.

Принята к публикации 16.10.2018.

METHOD OF DETERMINING FOREST ROADS CONSTRUCTION COST

L.Y. Gromskaya¹, V.V. Artemev¹, D.M. Levushkin²

¹Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, 5, Institutskiy pereulok st., 194021, Saint-Petersburg, Russia

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

gromskaya.stl@gmail.com

The development of technical and economic indicators determining the cost of forest roads construction should be based on the modern economic and engineering calculations. In conditions of practical absence of production and planning standards, the role of estimate standards increases significantly. The aim of this scientific work is to estimate the cost of forest roads building on the basis estimate standards and prices. In this article it is offered to use the automated analysis of determining the construction cost of the earth roadbed and the pavement surfacing based on the estimate-normative base. The source data is natural-production conditions and road category. The volume of road building works calculations are executed with the help of MS Excel, and the budget estimates are made with the help of "Estimate calculator 3.3". The developed method takes into account the types of location in terms of hydration, the type and category of the soil on the difficulties of producing; production technology of excavation; economic way of pavement. The result of the method is the cost parameters of 1 km of the earth roadbed and pavement for forest roads of 5.0 m, 5.5 m and 9.0 m width. It is confirmed the influence on the cost parameter of such factors as the type of soil subgrade, the amount of work, the distance of transportation of road construction materials and method of construction works. A significant change in the cost of the pavement building is in the presence or absence of local road construction materials. Obtained technical and economic indicators are needed to assess the economic efficiency of investment in forest roads building. The proposed method can be used to develop industry standards of cost for project and research organizations.

Keywords: forest roads, construction of forest roads, cost of construction, estimate calculation

Suggested citation: Gromskaya L.Y., Artemev V.V., Levushkin D.M. *Metodika opredeleniya stoimosti stroitel'stva lesnykh avtomobil'nykh dorog* [Method of determining forest roads construction cost]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 77–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-77-83

References

- [1] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V. Logoida V.S. *Metodika opredeleniya vliyaniya prirodnih faktorov na stoimost' stroitel'stva zemlyanogo polotna lesovoznykh dorog* [Methodology for determining the influence of natural factors on the cost of building roadbeds of logging roads]. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii* [Modern science-intensive technologies], 2016, no. 11–2, pp. 305–309.
- [2] VSN 01–82. *Instruktsiya po proektirovaniyu lesozagotovitel'nykh predpriyatiy*. [Manual for the design of logging enterprises] *Utverzhdeny Prikazom Minlesbumproma SSSR ot 10 avgusta 1982 g. N 236*. Leningrad: Giprolestrans, 1983, 187 p.
- [3] Ivanova O.A. *Povyshenie ehffektivnosti ehkspluatatsii parka avtopoezdov pri osvoenii territorial'no raspredelennykh lesnykh resursov*. Diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the efficiency of operation of the fleet of road trains in the development of territorially distributed forest resources], Petrozavodsk, 2014.
- [4] Katarov V.K., Rozhin D.V., Tuyunen M.V., Redozubov I.V. *Raschet stoimosti stroitel'stva al'ternativnykh uchastkov lesovoznykh dorog* [The construction calculation for alternative sections of forest roads]. *Transportnoe delo Rossii* [Transport business of Russia] 2010, no. 2 (75), pp. 106–111.
- [5] Kuznecov A.V., Ivanova O.A. *Metodika otsenki zatrat na stroitel'stvo i ehkspluatatsiyu lesovoznykh dorog* [Method of Estimating the Cost of Construction and Operation of Logging Roads]. *Nauka i biznes: puti razvitiya* [Science and business: Development ways], 2012, no. 7 (13), pp. 83–85.
- [6] ODN 218.046–01. *Proektirovanie nezhestkih dorozhnykh odezhd* [Design of non-rigid pavements]. Moscow, Rosavtodor, 2001, 61 p.
- [7] ONTP 02–85. *Obshchesoynuznye normy tekhnologicheskogo proektirovaniya lesozagotovitel'nykh predpriyatiy* [All-Union norms for the technological design of logging enterprises]. Leningrad, 1986, 232 p.
- [8] Reshetova E.M. *Sravnienie stoimosti stroitel'stva avtomobil'nykh dorog v Rossii i v stranakh mira* [A Comparison of the Cost of Road Construction in Russia and Other Countries]. *Ekonomika. Nalogi. Pravo*. [Economy. taxes. law] Moscow, 2015, no. 4, pp. 118–124.

- [9] Savel'ev V.V. *Metodika i matematicheskie modeli opredeleniya stoimosti stroitel'stva lesovoznykh avtodorog* [Methodology and mathematic models for defining the cost of timber logging roads construction] Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie. [Bulletin of the Volga State Technological University. Series: Forest. Ecology. Nature management]. Yoshkar-ola, 2009, no. 1, pp. 52–58.
- [10] Salminen E.O. Grekhov G.F., Tyurin N.A. *Transport lesa. T.1. Suhoputniy transport* [Transport of forest. Vol. 1. Forest land transport]. Moscow: Akademiya, 2009, 368 p.
- [11] *Sostavlenie smet v stroitel'stve na osnove smetno-normativnoy bazy 2001 goda* [Preparation of estimates in construction on the basis of the estimate and normative base of 2001]. Ed. P.V. Goryachkin. Moscow; S. Peterburg, 2003, 560 p.
- [12] Ardzinov V. D., Baranovskaya N. I., Kurochkin A. I. *Smetnoe delo v stroitel'stve Samouchitel'* [Estimated business in construction]. S. Peterburg: Piter, 2017, 464 p.
- [13] MDS 81–35.2004. *Metodika opredeleniya stoimosti stroitel'noy produkcii na territorii Rossijskoy Federacii* [Methods of determining the cost of construction products on the territory of the Russian Federation.]. Prinyata i vvodena v deystvie s 09.03.2004 g. Postanovleniem Gosstroya Rossii ot 05.03.2004 g. № 15/1. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200035529> (accessed 15.10.2017).
- [14] MDS 81–36.2004. *Ukazaniya po primeneniyu FER-2001 na stroitel'nye i special'nye stroitel'nye raboty* [Instructions for use FER-2001 for construction and special construction works]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200036886> (accessed 15.10.2017).
- [15] MDS 81–28.2001. *Ukazaniya po primeneniyu gosudarstvennykh ehlementnykh smet-nykh norm na stroitel'nye i special'nye stroitel'nye raboty (GEHSN-2001)* [Instructions on application of state element budget norms for construction and special construction works (gesn-2001)]. Gosstroy Rossii, 2001. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200028969> (accessed 15.10.2018).
- [16] *Sbornik srednih smetnykh cen na osnovnye materialy, izdeliya i konstrukcii, primenyaemye v stroitel'stve (SSSC)* [Collection of average estimated prices for basic materials, products and structures used in construction (SSSC)]. S. Peterburg: SPbGU «Centr monitoringa i ehkspertizy cen». Available at: <http://docs.cntd.ru/document/964800047> (accessed 15.10.2017).
- [17] Rozhin D.V. *Obosnovanie kompleksa remontno-stroitel'nykh meropriyatiy seti lesovoznykh dorog lesozagotovitel'nogo rayona: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Justification of the Complex of Repair and Construction Projects of the Forest Roads Network in a Cutting Area. Cand. Sci. (Tech.) Diss. Abs.]. Petrozavodsk, 2012, 21 p.
- [18] Stükelberger J.A. A weighted-graph optimization approach for automatic location of forest road networks, ETH. Zürich. Diss no. 17366, Eidgenössische Technische Hochschule ETH Zürich, Zürich, 2007, 127 p.
- [19] Stükelberger J.A., Heinimann H.R. and Burlet E.C. Modelling spatial variability in the life-cycle costs of low-volume forest roads. *European J. of Forest Research*, 2006, v. 125, pp. 377–390.
- [20] Stükelberger J.A., Heinimann H.R., Chung W., Ulber M. Automatic road-networkplanning for multiple objectives. Council on Forest Engineering: Annual Conference, Coeur d'Alene / Eds. W. Chung, H.S. Han. Missoula, USA: University of Montana, 2006, pp. 233–248.
- [21] Akay A. A new methodology in designing forest roads. *Turkish J. Agricul. Forest*, 2004, v. 28, pp. 273–279.
- [22] Jong J.C., Schonfeld P. An Evolutionary Model for Simultaneously Optimizing Three-Dimensional Highway Alignments. *Transportation Research. Part B*, 2003, v. 37, pp. 107–128.
- [23] Liatsis P., Tawfik H.M. Two-Dimensional Road Shape Optimisation Using Genetic Algorithms. *Mathematics and Computers in Simulation*, 1999, v. 51, pp. 19–31.
- [24] Akay A.E. Minimizing Total Costs of Forest Roads with Computer-Aided Design Model. *Academy Proceedings in Engineering Sciences (SADHANA)*, 31(5), 2006, pp. 621–633.

Authors' information

Gromskaya Lyubov Yakovlevna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the Department of Industrial Transport Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, gromskaya.stl@gmail.com

Artem'yev Vladislav Vladimirovich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Lecturer of the Department of Industrial Transport Saint-Petersburg State Forest Technical University named after S.M. Kirov, artemev.vladislav@gmail.com

Levushkin Dmitry Mikhailovich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), levushkin@mgul.ac.ru

Received 28.11.2017.

Accepted for publication 16.10.2018.

УДК 676.054.6

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-84-93

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЛАБОРАТОРНАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОГО МОДИФИЦИРОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ

К.И. Ковалева¹, В.В. Горшков², Г.Г. Политенкова¹, М.Г. Михалева¹,
В.П. Мельников¹, Д.С. Герасимов³, С.Н. Никольский¹, С.В. Стывбун¹

¹Институт химической физики им. Н.Н. Семенова Российской академии наук, 119991, г. Москва, ул. Косыгина, д. 4

²ООО «НПО АСУ ТП», 141730, Московская область, г. Лобня, ул. Текстильная, д. 1, корп. а

³ФКП «Алексинский химический комбинат», 301361, Тульская область, г. Алексин, пл. Победы, д. 21

nikolskij56@mail.ru

Рассматривается экспериментальная установка, предназначенная для физико-химического модифицирования товарной древесной целлюлозы до уровня, указанного в требованиях государственных стандартов, предъявляемых к волокнистым полуфабрикатам для глубокой химической переработки. Необходимость создания подобной системы связана с отсутствием в России и странах СНГ промышленного производства указанного вида сырья для выработки продукции двойного назначения. К этой группе относятся различные функциональные производные и искусственные материалы на целлюлозной основе (NaKMЦ, коллоксилин, пироксилин, вязкие и кордные волокна). Основными элементами установки являются: узел роспуска и диспергирования; химического модифицирования, промывки и обезвоживания; двухступенчатой сушки конечного продукта. Аппаратурное оформление экспериментальной установки обеспечивает полную независимость от вида и марки волокнистого полуфабриката. В качестве сырья может быть использована в первую очередь товарная целлюлоза из хвойных или лиственных пород древесины, так и целлюлоза из однолетних растений (льняное волокно). В случае применения волокнистых полуфабрикатов, отобранных с жидкого потока, роспуск и подготовка массы выполняются на сетке нутч-фильтра. Экспериментальная установка представляет собой современный модульный инженерный комплекс, включающий три взаимосвязанных потока: 1) массный поток (волокнистое сырье); 2) поток химикатов; 3) поток промывных растворов, включая воду, и максимально полного возврата химических реагентов. Созданная установка позволяет получать волокнистый полуфабрикат как в виде рыхлой массы (аналог промышленной марки ЦА), так и в виде плоских бумагоподобных образцов (аналог промышленной марки РБ). Также на установке могут быть получены аналоги наиболее перспективного для применения в промышленности материала марки КБ. По показателям качества модифицированная целлюлоза соответствует требованиям ГОСТ 595–79 «Целлюлоза хлопковая. Технические условия» и полностью пригодна для дальнейшей химической переработки.

Ключевые слова: экспериментальная лабораторная установка, инженерные и технологические решения, товарная древесная целлюлоза для производства бумаги и картона, целлюлоза для химической переработки, хлопковая целлюлоза

Ссылка для цитирования: Ковалева К.И., Горшков В.В., Политенкова Г.Г., Михалева М.Г., Мельников В.П., Герасимов Д.С., Никольский С.Н., Стывбун С.В. Экспериментальная лабораторная установка для физико-химического модифицирования древесной целлюлозы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 84–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-84-93

В настоящее время вся товарная целлюлоза, выпускаемая действующими целлюлозно-бумажными предприятиями России, полностью предназначена для изготовления массовых видов бумаги и картона. В первую очередь к ним относятся упаковочные материалы (картон коробочный, картон гофрированный, бумага мешочная), бумага и картон для полиграфии, бумага санитарно-гигиенического назначения. Объемы выпуска целлюлозы для картонно-бумажного производства превышают производство целлюлозы для химической переработки более чем в 15 раз [1].

Тем не менее целлюлоза для химической переработки нужна для изготовления как товаров широкого потребления, так и продукции двойного назначения. С начала 2000-х гг. ежегодный мировой прирост объемов производства целлюлозы для

химической переработки составляет не менее 5%. При этом увеличение выпуска массовых видов бумаги и картона не превышает 2–2,5% [1].

Волокнистое сырье для изготовления массовых видов бумаги и картона характеризуется целым комплексом параметров, которые практически полностью исключают его использование в процессах глубокой химической переработки.

В первую очередь к ним относятся следующие характеристики:

1) низкое содержание альфа-целлюлозы, которое в волокнистых полуфабрикатах не превышает уровня 82–86%. Это обусловлено тем, что основной целью современной технологии целлюлозного производства является максимально полное сохранение углеводной части древесинного вещества (целлюлоза, гемицеллюлозы);

2) низкая химическая однородность и чистота волокнистых материалов. Главными требованиями к качеству таких полуфабрикатов являются высокие показатели механической прочности [2, 3].

Цель работы

Цель работы — рассмотреть работу экспериментальной установки, предназначенной для физико-химического модифицирования товарной древесной целлюлозы до уровня, указанного в требованиях государственных стандартов, предъявляемых к волокнистым полуфабрикатам для глубокой химической переработки.

Материалы и методы

Качество волокнистых полуфабрикатов для производства бумаги и картона определяют не по химической чистоте и свойствам целевого продукта — целлюлозы, а по физико-механическим показателям специально подготовленных тестовых образцов технической целлюлозы [2, 3]:

- разрывная длина;
- прочность на излом при многократных перегибах;
- белизна;
- сорность;
- рН водной вытяжки;
- влажность.

В отличие от целлюлозы, предназначенной для выпуска массовых видов бумаги и картона, целлюлоза для химической переработки характеризуется следующими базовыми критериями [4, 5]:

- массовая доля альфа-целлюлозы;
- динамическая вязкость;
- массовая доля лигнина;
- массовая доля золы;
- смачиваемость;
- набухание;
- белизна;
- влажность.

В зависимости от способа производства (сульфатный, сульфитный) и применяемой схемы отбеливания целлюлоза для производства бумаги и картона может содержать большое количество примесей нецеллюлозного характера — смолы и жиры (сульфитная хвойная небеленая целлюлоза), минеральные вещества (характеризуются показателем «массовая доля золы»), сор и костра.

Определенный вклад в химическое загрязнение волокнистого материала вносит и производственная вода, используемая предприятиями.

В качестве сырья на ЦБК применяется смесь древесных пород. В технологических процессах используют как смеси лиственных породы древесины (береза, осина), так и смеси хвойных

пород (сосна, ель, пихта, лиственница). Наличие в составе волокнистых полуфабрикатов волокон различной длины, грубости и т. п. может привести к неравномерности протекания химических реакций по толщине клеточной стенки и в дальнейшем к получению конечной продукции, не соответствующей требованиям нормативных документов.

Таким образом, для получения волокнистых полуфабрикатов, полностью пригодных для последующей химической переработки, требуется направленное физико-химическое модифицирование товарной целлюлозы.

В ИХФ им. Н.Н. Семенова РАН создана и пущена в опытную эксплуатацию экспериментальная установка по физико-химическому модифицированию товарной древесной целлюлозы. Внедренные технологические приемы позволяют получать волокнистый полуфабрикат с содержанием альфа-целлюлозы 92,0–99,5 %. Показатели качества модифицированной целлюлозы подтверждены испытаниями в независимых лабораториях предприятий ОПК РФ (результаты испытаний даны в табл. 3).

Блок-схема экспериментальной установки представлена на рис. 1, характеристики аппаратов и вспомогательных узлов установки — в табл. 1.

Созданная установка позволяет получать волокнистый полуфабрикат как в виде рыхлой массы (аналог промышленной марки ЦА), так и в виде плоских бумагоподобных образцов (аналог промышленной марки РБ) [6]. Также на установке могут быть получены аналоги наиболее перспективного для применения в промышленности материала марки КБ [6].

Бумагоподобные материалы в дальнейшем могут быть получены в виде элементов ромбовидной формы заданных размеров с целью оптимизации процессов нитрования. В промышленных условиях резку целлюлозы марки РБ выполняют на станке СРЦК конструкции В.В. Кузьмина [6].

Технологические и инженерные решения, использованные при разработке экспериментальной установки

В процессе практической отработки теоретически обоснованного процесса физико-химического модифицирования различных видов и марок товарной целлюлозы, выпускаемых целлюлозно-бумажными комбинатами России, были предложены и экспериментальным путем подтверждены следующие оригинальные технологические и инженерные решения [7–15].



Рис. 1. Блок-схема экспериментальной установки
Fig. 1. Block diagram of the pilot unit

Т а б л и ц а 1

Основное и вспомогательное оборудование экспериментальной установки

The main and auxiliary equipment of the pilot unit

№ п/п	Наименование оборудования или технических устройств	Количество	Материал, способ защиты	Технические характеристики
<i>Основное оборудование</i>				
1	Емкость для роспуска, диспергирования и термической обработки сырья. Разработка ИХФ РАН	1	Полипропилен	Номинальный объем – 13 л. Рабочий объем – 10 л. Рабочая температура – 20–100 °С. Мощность ТЭН – 0,7 кВт. Рабочее давление — налив. Концентрация массы при роспуске 0,5–3,0 %
2	Нутч-фильтр. НФЛ 0,035-225 ПП. Разработка ИХФ РАН	1	Полипропилен	Приемник суспензии – 5 л. Приемник фильтрата – 8 л. Перемешивающее устройство с регулятором частоты оборотов мешалки
3	Установка СВЧ-сушки. Разработка ИХФ РАН	1	Металл, полипропилен	Мощность СВЧ-устройства – 1 кВт. Система удаления испаренной влаги. Контроль массы удаленной влаги
4	Установка «Термолес». Модификация ИХФ РАН	1	Полипропилен	Объем сушильной камеры – 20 л. Система конвективной сушки и вентиляции
5	Нутч-фильтр. НФЛ 0,015-160 ПП. Модификация ИХФ РАН	1	Полипропилен	Приемник суспензии – 1,5 л. Приемник фильтрата – 3 л
<i>Вспомогательное оборудование</i>				
6	Насос вакуумный водоструйный SHB-IIIА	1	Металл, полипропилен	Остаточное давление в системе – не более 190 Па
7	Весы технические	1	–	Марка AND GR-200
8	Весы аналитические	1	–	Марка AND EK-1200i
9	Аквадистиллятор электрический	1	–	Марка ДЭ-М. Производительность – 12 л/ч



Рис. 2. Конструкция и блок-схема работы нутч-фильтра
 Fig. 2. Design and block diagram of the operation of the Nutsche filter

Технологические решения

Товарная целлюлоза на всех отечественных и зарубежных целлюлозно-бумажных комбинатах и целлюлозных заводах производится в виде папки, сформованной в мокрой части пресспата (агрегат для обезвоживания и сушки волокнистых материалов). Поверхностная плотность папки составляет от 500 до 850 г/м². При этом толщина листа составляет от 0,7 до 1,2 мм при расчетной плотности 700 кг/м³. Высокая толщина и, соответственно, объемная плотность листа не позволяют эффективно и равномерно проводить процесс физико-химической обработки волокнистого полуфабриката из-за затруднений, прежде всего, диффузионного характера. Поэтому, товарный полуфабрикат (беленая целлюлоза из хвойных и лиственных пород древесины; сырье из однолетних растений, например льняное волокно) должен быть предварительно подготовлен.

Подготовка сырья начинается с роспуска волокнистого материала в обессоленной воде при жидкостном модуле 30 кг/кг. Роспуск производится в специальном аппарате, оборудованном пропеллерной мешалкой с электроприводом.

Далее следует этап диспергирования полученной массы с целью повышения однородности массы, а также удаления сгустков и комочков.

Технологический режим диспергирования устанавливается с таким расчетом, чтобы в ходе процесса практически полностью исключалась возможность механического повреждения волокон полуфабриката. Это достигается подбором концентрации суспензии, температуры массы, параметров работы перемешивающего устройства и продолжительности процесса.

Контроль завершения процесса диспергирования проводят следующим образом. Выполняют отбор пробы массы объемом 50–100 мл. Отобранную пробу разбавляют 10–15 раз в стеклянном мерном цилиндре, снабженном плотно закрывающейся крышкой. Далее цилиндр с массой тщательно встряхивают и в проходящем свете выполняют визуальную оценку степени роспуска. Должным образом подготовленная суспензия является однородной и не имеет нераспустившихся сгустков и комков.

Этап подготовки сырья завершается сгущением диспергированной волокнистой суспензии на емкостном фильтре (нутч-фильтр, рис. 2), функциональные возможности которого рассмотрены ниже. Сгущение с применением формирующих сеток бумагоделательного производства (№ 8, полотняное плетение; № 30, саржевое плетение) позволяет не только повысить концентрацию

массы, но и удалить мелкие частицы (коротковолокнистая фракция, обрывки волокон, морфологические элементы древесины неволокнистого характера), которые идентифицируются при анализе полуфабриката как «волокнистая пыль» [4, 16–20]. Дополнительно происходит удаление водорастворимых компонентов технической целлюлозы, которые образуются в процессах делигнификации и отбелки. Волокнистая масса после сгущения направляется на основной узел — узел физико-химического модифицирования сырья.

Фильтрат после сгущения суспензии направляется на роспуск новой порции товарной целлюлозы.

Одновременно с роспуском и диспергированием волокнистой суспензии узел подготовки сырья выполняет вторую не менее важную функцию — термическая обработка водных суспензий волокнистых материалов. В первую очередь это горячее облагораживание технической целлюлозы при температуре не ниже 95–100 °С и концентрации едкого натра 3,5–5 %.

Соответственно, роспуск, диспергирование и термическая обработка суспензии химическими реагентами проводятся в одном аппарате.

На этапе химического модифицирования сырья проводится химическая обработка волокнистого сырья с целью достижения требуемых показателей качества полуфабриката, предназначенного для последующей химической переработки.

Процесс проводится в сильнощелочной среде при нормальной температуре. Рабочая концентрация едкого натра — 17,5 %. Обработка волокнистой массы при высоких значениях рН обеспечивает достижение массовой доли альфа-целлюлозы от 82–86 % до 99,0–99,5 %, увеличение впитывающей способности, снижение полидисперсности древесной целлюлозы.

По окончании процесса модификации полученный продукт проходит следующие стадии процесса:

- удаление избытка щелочных реагентов;
- промывка;
- сушка.

Основным агрегатом ступени химической обработки целлюлозы является нутч-фильтр (см. рис. 2), с применением которого выполняются следующие технологические операции:

- обезвоживание и сгущение целлюлозы после подготовки;
- проведение холодного облагораживания при постоянном или периодическом перемешивании массы;
- многоступенчатая промывка массы растворами едкого натра понижающейся концентрации, и обессоленной водой;
- роспуск товарной целлюлозы при высокой концентрации от 10 до 20 %; данная операция является дополнительной и применяется в тех

случаях, когда отсутствует необходимость полного удаления сгустков и комков в суспензии.

Полуфабрикат после модифицирования представляет собой влажную рыхлую массу с содержанием абсолютно сухого волокна 10–13 %.

Далее следуют этапы:

- процесс сушки (2 ступени) агрегатированной целлюлозы (аналог промышленной марки ЦА);
- процесс формования, прессования и последующей сушки бумагоподобных образцов целлюлозы (аналог промышленной марки РБ).

Процесс сушки агрегатированной целлюлозы выполняется в два этапа.

Стадия предварительной сушки проводится в установке СВЧ-сушки до относительной влажности материала не ниже 45–50 %. Этот этап предназначен для удаления свободной воды из целлюлозной массы с максимальной эффективностью.

Окончательное удаление воды до относительной влажности 5–9 % проводится в установке конвективной сушки «Термолес» теплым воздухом 80–90 °С.

Бумагоподобные тестовые образцы модифицированной целлюлозы поверхностной плотностью 120–150 г/м² изготавливаются с применением нутч-фильтра НФЛ 0,015-160 ПП, снабженного синтетической сеткой № 30 (плетение саржевое). Влажный образец после формования прессуют между двумя сетками для удаления избыточной влаги. Окончательную сушку материала выполняют в установке «Термолес».

Инженерные решения

1. Аппаратурное оформление экспериментальной установки обеспечивает полную независимость от вида и марки волокнистого полуфабриката. В качестве сырья может быть использована в первую очередь товарная целлюлоза из хвойных или лиственных пород древесины, так и целлюлоза из однолетних растений (льняное волокно). В случае применения волокнистых полуфабрикатов, отобранных с жидкого потока (целлюлоза, не прошедшая сушку на цилиндрах пресспата целлюлозного завода), роспуск и подготовка массы выполняются на сетке нутч-фильтра.

2. Экспериментальная установка представляет собой современный модульный инженерный комплекс, включающий три взаимосвязанных потока: 1) массный поток (волокнистое сырье); 2) поток химикатов; 3) поток промывных растворов, включая воду, и максимально полного возврата химических реагентов.

3. Установка позволяет смоделировать режимы работы указанных выше потоков таким образом, чтобы обеспечивалась максимальная загрузка всего технологического оборудования.

4. Отдельные технологические единицы экспериментальной установки выполняют не менее двух функций.

Параметры работы экспериментальной установки
The parameters of the pilot unit

Параметр			Комментарии, расчеты
Наименование	Обозначение	Размерность	
<i>Исходные параметры</i>			
Жидкостный модуль процесса холодного облагораживания (ХО)	ГМ	кг/кг	Определяется условиями обработки сырья
Единичная масса реагентов в системе (сырье, химикаты, вода и пр.)	M_{Σ}	кг	$M_{\Sigma} = (1 + \text{ГМ})$. Исходная концентрация волокна в жидкой фазе составит $100 / M_{\Sigma}$
Массовая концентрация абсолютно сухого волокна (а.с.в.) после промывки и удаления избытка воды на сетке нутч-фильтра	$C_{\text{в}}$	% а.с.в.	Определяется конструктивными особенностями оборудования и условиями обезвоживания массы на фильтре
Рабочая концентрация NaOH	C_0	%	Определяется условиями обработки сырья
Выход волокнистой массы после ступени ХО	Y	%	В величине выхода учитываются механические и химические потери волокна
Коэффициент сухости волокнистой массы на сетке нутч-фильтра после промывки и обезвоживания	$k_{\text{нф}}$	отн. ед.	$k_{\text{нф}} = C_{\text{в}} / 100$
Относительная влажность модифицированной целлюлозы после стадии СВЧ-сушки	w_1	%	—
Относительная влажность модифицированной целлюлозы после стадии конвективной сушки	w_2	%	—
Коэффициент сухости целлюлозы после соответствующей стадии сушки	k_1, k_2	отн. ед.	$k_1 = (100 - w_1) / 100$, $k_2 = (100 - w_2) / 100$
<i>Критерии оценки работы установки</i>			
Массовая доля потерь исходной целлюлозы	a	отн. ед.	$a = 1 - Y / 100$
Масса жидкой фазы после ступени ХО	$M_{\text{хо}}$	кг	$M_{\text{хо}} = (100M_{\Sigma} - Y) / 100$
Масса фильтрата	$M_{\text{ф}}$	кг	Определяется работой нутч-фильтра
Интегральная характеристика работы нутч-фильтра	K_s	отн. ед.	Характеризует массовую долю фильтрата в общей массе жидкой фазы после ступени ХО: $K_s = M_{\text{ф}} / M_{\text{хо}}$
Масса органической части в фильтрате	$M_{\text{оф}}$	кг	Величина определяется технологией химического модифицирования целлюлозы. В первую очередь, это наличие или отсутствие циркуляции отработанного щелочного раствора
Максимальный отбор конденсата в процессе сушки модифицированной целлюлозы	Q	м ³ /т	$Q = (1 / k_{\text{нф}} - 1 / k_{1,2})Y$

Основные параметры функционирования экспериментальной установки

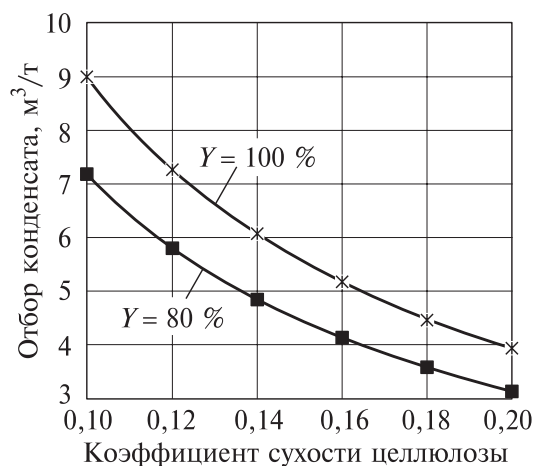
Среди исходных данных наиболее важными факторами являются:

- условия проведения модифицирования целлюлозы (концентрация раствора едкого натра, продолжительность и температура обработки сырья, жидкостный модуль процесса модифицирования);
- концентрация волокнистой массы на сетке нутч-фильтра;
- выход конечного продукта.

Остальные параметры определяются заданными условиями проведения процесса и на общие закономерности модифицирования влияния не оказывают, т. е. представляют собой только количественные характеристики.

Жидкостный модуль — один из важнейших факторов процесса химического модифицирования и является количественной характеристикой массы жидкой фазы в системе (табл. 2).

Далее по значимости следуют сухость массы на сетке нутч-фильтра и выход конечного продукта (см. табл. 2).



после обезвоживания на фильтре, отн. ед.

Рис. 3. Зависимость отбора конденсата от выхода целлюлозы после модифицирования и от эффективности удаления воды на сетке нутч-фильтра

Fig. 3. Dependence of condensate selection on the yield of cellulose after modification and on the efficiency of water removal on the Nutche filter screen

Выход конечного продукта — модифицированной целлюлозы включает как механические (удаление мелкого волокна и примесей неволокнистого характера на сетке нутч-фильтра), так и химические потери массы полуфабриката в процессе облагораживания.

При максимально замкнутом потоке раствора едкого натра в системе первоначально происходит накопление органической фракции (растворенная часть). Однако уже после пятого цикла массовая доля выходит практически на постоянную величину в связи с удалением из системы растворенных веществ, содержащихся в волокнистой массе на сетке нутч-фильтра.

Несложно установить, что доля органической фракции в системе является суммой бесконечно убывающей геометрической прогрессии (обозначения параметров см. в табл. 2):

$$M_{\text{оф}} = aK_s / (1 - K_s).$$

Таким образом, основными факторами, определяющими массу растворенной органической фракции, являются выход конечного продукта и работа нутч-фильтра.

Не менее важным параметром, характеризующим работу установки, является отбор конденсата в процессе сушки. Максимально полное улавливание конденсата в условиях действующего производства обеспечивает значительное сокращение технологических затрат на процесс водоподготовки.

В соответствии с выполненными расчетами (рис. 3) правомерно сделать следующие выводы.

1. Основным фактором, определяющим отбор (возврат) конденсата в систему промывки мо-

дифицированной целлюлозы, является степень удаления воды из волокнистой массы на сетке нутч-фильтра.

2. Вторым по значимости фактором следует считать выход технически модифицированной целлюлозы после процесса модифицирования.

3. Величина влажности конечного продукта — агрегатированной целлюлозы существенного влияния на объем отбираемого конденсата практически не оказывает.

4. Аккумулируемый в процессе сушки конденсат направляется обратно на промывку модифицированной целлюлозы.

Выводы

1. Созданная в ИХФ РАН экспериментальная лабораторная установка позволяет путем физико-химического модифицирования белой товарной целлюлозы, предназначенной для производства массовых видов бумаги и картона, получить волокнистый полуфабрикат, полностью отвечающий требованиям, предъявляемым нормативными документами к целлюлозе для химической переработки.

2. Полученные результаты подтверждены межлабораторными испытаниями, выполненными в ИХФ РАН и на предприятиях ОПК РФ (см. табл. 3). Необходимо отметить, что содержание примесей (массовая доля лигнина, смолы и жиры) в конечном продукте находится на очень низком уровне $\approx 0,1\%$.

3. По сравнению с применявшейся на Байкальском ЦБК технологией кордной целлюлозы [7], которая включала в себя водный предгидролиз перед варкой и 11 ступеней отбеливания, в том числе горячее и холодное облагораживание. Разработанная в ИХФ РАН схема имеет всего четыре технологических стадии — подготовка сырья, химическое модифицирование, промывка и сушка. Принципиальное значение при этом имеет лишь стадия химического модифицирования. В 2015 г. в условиях действующего производства (ОАО «Сясьский ЦБК», Ленинградская область) была предпринята попытка выпуска хвойной целлюлозы для химической переработки с использованием ступени горячего облагораживания. Однако полученный полуфабрикат имел показатель «массовая доля альфа-целлюлозы» — 93,0–93,5 %. При этом в процессе отбеливания были применены ступени с использованием молекулярного хлора и гипохлорита натрия [8–15].

4. По показателям качества модифицированная целлюлоза полностью соответствует требованиям ГОСТ 595–79 «Целлюлоза хлопковая. Технические условия» и полностью пригодна для дальнейшей химической переработки.

Т а б л и ц а 3

Результаты межлабораторных испытаний агрегатированной целлюлозы*)
The results of interlaboratory testing of aggregated pulp

Наименование показателя	Результат испытаний			Норма по ГОСТ 595–79		
	ИХФ РАН	ФКП «АХК», г. Алексин	ОАО «НИИПМ», г. Пермь	Высший сорт	Первый сорт	Второй сорт
Внешний вид	Соответствует	Соответствует	Соответствует	Рыхлая масса белого цвета, не содержащая посторонних включений в виде щепы, песка, кусочков резины, механических включений и других примесей нецеллюлозного характера		
Массовая доля альфа-целлюлозы, не менее, %	98,1–98,8	98,8	99,6	99,0	98,0	97,5
Смачиваемость (для производства нитроцеллюлозы), не менее, г	153	132	134	150	140	130
Массовая доля воды, не более, %	7,5	9,6	7,3	8,0	10,0	10,0
Массовая доля золы, не более, %	0,1	0,1	0,09	0,1	0,2	0,3
Массовая доля смол и жиров, не более, %	–	0,11	0,1	Не нормируется		
Массовая доля лигнина, не более, %	–	–	0,1	Не нормируется		
Массовая доля остатка, не растворимого в серной кислоте, не более, %	–	0,3	0,06	0,1	0,3	0,5
Динамическая вязкость, сПа×с (СП)	–	4,6 (46)	5,7 (57)	4,6–8,5 (46–85)		
<i>Примечание. *)</i> — исходное сырье — товарная целлюлоза марки ЛС-0 (ГОСТ 28172–89), изготовитель — ОАО «Архангельский ЦБК».						

Список литературы

[1] Целлюлоза растворяется, а перспективы остаются // Pulp & Paper Industry, 2016. № 1 (1). С. 39–41.
 [2] ГОСТ 9571–89. Целлюлоза сульфатная беленая из хвойной древесины. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1990. 5 с.
 [3] ГОСТ 28172–89. Целлюлоза сульфатная беленая из смеси лиственных пород древесины. Технические условия (с Изменением № 1). М.: Издательство стандартов, 1989. 6 с.
 [4] ГОСТ 595–79. Целлюлоза хлопковая. Технические условия (с Изменениями № 1–4). М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. 5 с.
 [5] ГОСТ 5982–84. Целлюлоза сульфитная вискозная. Технические условия (с Изменением № 1). М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. 6 с.
 [6] Дементьева Д.И., Кононов И.С., Мамашев Р.Г., Харитонов В.А. Введение в технологию энергонасыщенных материалов. Барнаул: Алтайский гос. техн. Университет, 2009. 254 с.
 [7] Целлюлозно-бумажная промышленность СССР (материалы о развитии отрасли). М.: Минлесбумпром СССР, 1983. 634 с.
 [8] Кларк Дж. Технология целлюлозы / пер. с англ. А.В. Оболенской, Г.А. Пазухиной. М.: Лесная пром-сть, 1983. 456 с.
 [9] Никольский С.Н., Гугнин М.Ю., Майлова А.А., Шалимова Т.В. Определение выхода сульфатной целлюлозы при варке в котлах непрерывного и периодического действия // Бумажная пром-сть, 1990. № 8. С. 10–11.
 [10] Никольский С.Н. Определение переводных коэффициентов полуфабрикатов щелочных и кислородно-щелочных способов варки // Бумажная пром-сть, 1989. № 6. С. 9–10.
 [11] Никольский С.Н., Гугнин М.Ю., Майлова А.А. Влияние выхода щелочной целлюлозы на переводной коэффициент // Химия древесины, 1987. № 5. С. 115–116.

[12] Никольский С.Н., Гугнин М.Ю. Оценка линейной плотности волокон технической целлюлозы // Химия древесины, 1988. № 3. С. 38–40.
 [13] Никольский С.Н., Жалина В.А., Кокконен И.В., Ольшевская Н.Е. Определение переводных коэффициентов целлюлозы окислительных способов варки // Сб. тр. ЛТА «Технология бумаги и картона». Л.: ЛТА, 1989. С. 10–13.
 [14] ГОСТ 7500–85. Бумага и картон. Методы определения состава по волокну. М.: Изд-во стандартов, 1987. 50 с.
 [15] Ковалева К.И., Горшков В.В., Никольский С.Н., Стовбун С.В. Технологическая автоматизированная линия физико-химической модификации товарной целлюлозы // Материалы XVIII Междунар. науч.-техн. конф. «Год экологии в России и на предприятиях ЦБП. Качество макулатурного сырья. Производство бумаги и картона для гофротары и упаковки». Караваево, 25–26 мая 2017 г. Караваево: ОАО «Караваево», 2017. С. 45–50.
 [16] Технология целлюлозно-бумажного производства: в 3 т. СПб.: Политехника, 2005.
 [17] Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонова А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учеб. пособие для вузов. М.: Экология, 1991. 320 с.
 [18] Gorbacheva G.A., Ivankin A.N., Sanaev V.G., Ageev A.K., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P., Badamshina E.R. Surface Modification of Cellulose-Containing Materials with Solutions of Tetrafluoroethylene Telomers // Russian J. Applied Chemistry, 2017, v. 90, no. 8, pp. 1104–1110.
 [19] Азаров В.И., Винославский В.А., Кононов Г.Н. Практикум по химии древесины и синтетических полимеров: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2006. 248 с.
 [20] Пашкевич М.Ф., Жолобов А.А., Мрочек Ж.А., Кожуро Л.М., Пашкевич В.М. Исследования и изобретательство в машиностроении / под общ. ред. М.Ф. Пашкевича. Минск: Адукацыя і выхаванне, 2005. 287 с.

Сведения об авторах

Ковалева Ксения Игоревна — ведущий инженер ИФХ РАН, kovaleva_kseniya@bk.ru

Горшков Виталий Валерьевич — директор ООО «НПО АСУ ТП», v.gorshkov@npoasutp.ru

Политенкова Галина Григорьевна — научный сотрудник ИФХ РАН, g.politenkova@mail.ru

Михалева Мария Геннадьевна — научный сотрудник ИХФ РАН, канд. физ.-мат. наук, wawe@bk.ru

Мельников Валерий Павлович — зав. лабораторией ИХФ РАН, канд. хим. наук, melnikov@chph.ras.ru

Герасимов Дмитрий Сергеевич — зам. директора ФКП «Алексинский химический комбинат», зам. генерального директора по управлению проектами ПАО «Ил», info@ilyushin.net

Никольский Сергей Николаевич — старший научный сотрудник ИХФ РАН, канд. хим. наук, nikolskij56@mail.ru

Стовбун Сергей Витальевич — зав. лабораторией ИХФ РАН, д-р физ.-мат. наук, s.stovbun@chph.ras.ru

Поступила в редакцию 09.02.2018.

Принята к публикации 08.11.2018.

EXPERIMENTAL LABORATORY EQUIPMENT FOR PHYSICAL-CHEMICAL MODIFICATION OF WOOD PULP

K.I. Kovaleva¹, V.V. Gorshkov², G.G. Politenkova¹, M.G. Mikhaleva¹,
V.P. Melnikov¹, D.S. Gerasimov³, S.N. Nikolsky¹, S.V. Stovbun¹

¹Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, 4, Kosygina st., 119991, Moscow, Russia

²«НПО АСУ ТП», 1, А, Текстильная ст., Лобня, 141730, Moscow reg., Russia

³Aleksinsky Chemical Combine, 21, pl. Victory, Aleksin, 301361, Tula reg., Russia

nikolskij56@mail.ru

A pilot unit designed for physico-chemical modification of marketable wood pulp to the level specified in the requirements of state standards for fibrous semi-finished products for deep chemical processing is considered. The need to create such a system is associated with the absence in Russia and the CIS of industrial production of this type of raw material for the production of dual-use products. This group includes various functional derivatives and cellulosic-based artificial materials (NaCMC, colloxylin, pyroxylin, viscose and cord fibers). The main elements of the unit are node dissolution and dispersion; chemical modification, washing and dehydration; two-stage drying of the final product. The instrumentation of the pilot unit ensures complete independence from the type and brand of the semi-finished fibrous material. The raw material can be used primarily commodity cellulose from softwood or hardwood, as well as cellulose from annual plants (flax fiber). In the case of the use of fibrous semi-finished products selected from the liquid flow, the dissolution and preparation of the mass are performed on the suction filter mesh. The experimental setup is a modern modular engineering complex that includes three interconnected streams: 1) a mass flow (fibrous raw materials); 2) flow of chemicals; 3) the flow of washing solutions, including water, and the most complete return of chemical reagents. The created installation allows to obtain a semi-finished fibrous product in the form of a loose mass (analogue of the industrial brand CA), and in the form of flat paper-like samples (analogue of the industrial brand RB). Also at the facility there can be obtained analogues of the most promising for use in the industry material brand KB. In terms of quality, modified cellulose meets the requirements of GOST 595–79 “Cotton cellulose. Technical conditions” and fully suitable for further chemical processing.

Keywords: pilot unit, engineering and technological solutions, commercial wood pulp for the production of paper and cardboard, chemical pulp for processing, cotton pulp

Suggested citation: Kovaleva K.I., Gorshkov V.V., Politenkova G.G., Mikhaleva M.G., Melnikov V.P., Gerasimov D.S., Nikolsky S.N., Stovbun S.V. *Экспериментальная лабораторная установка для физико-химической модификации древесины целлюлозы* [Experimental laboratory equipment for physical-chemical modification of wood pulp]. *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 84–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-84-93

References

- [1] *Целлюлоза растворяется, а перспективы остаются* [Cellulose dissolves, and prospects remain] *Pulp & Paper Industry*, 2016, no. 1 (1), pp. 39–41.
- [2] *GOST 9571–89 Целлюлоза сульфатная белая из хвойной древесины. Технические условия* [GOST 9571–89 Bleached sulphate pulp from coniferous wood. Technical conditions]. Moscow: Publishing house of standards, 1990, 5 с.
- [3] *GOST 28172–89 Целлюлоза сульфатная белая из смеси лиственных пород древесины. Технические условия (с Изменением № 1)* [GOST 28172–89 Bleached sulphate pulp from a mixture of hardwood. Technical conditions (as amended by № 1)]. Moscow: Publishing house of standards, 1989, 6 p.

- [4] *GOST 595–79 Tsellyuloza khlopkovaya. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami № 1–4)* [GOST 595–79 Cotton cellulose. Technical conditions (with Changes №1–4)]. Moscow: IPK Publishing house of standards, 2002, 5 c.
- [5] *GOST 5982–84 Tsellyuloza sul'fatnaya viskoznyaya. Tekhnicheskie usloviya (s Izmeneniyami № 1)* [GOST 5982–84 Sulfite Viscose Cellulose. Technical conditions (as amended by № 1)]. Moscow: IPK Publishing house of standards, 1998, 6 p.
- [6] Dement'eva D.I., Kononov I.S., Mamashev R.G., Kharitonov V.A. *Vvedenie v tekhnologiyu energonasyshchennykh materialov* [Introduction to the technology of energy-saturated materials]. Barnaul: Altai State Tech. University, 2009, 254 p.
- [7] *Tsellyulozno-bumazhnaya promyshlennost' SSSR (materialy o razvitiy otрасli)* [Pulp and paper industry of the USSR (materials on the development of the industry)]. Moscow: Minlesbumprom USSR, 1983, 634 p.
- [8] Clark J. *Tekhnologiya tsellyulozy* [Cellulose technology]. Translated from English by A.V. Obolenskoe, G.A. Pazukhinoi. Moscow: Lesnaya prom-st', 1983, 456 p.
- [9] Nikol'skiy S.N., Gugnin M.Yu., Maylova A.A., Shalimova T.V. *Opreделение vykhoda sul'fatnoy tsellyulozy pri varke v kotlakh nepreryvnogo i periodicheskogo deystviya* [Determination of the yield of sulfate pulp during cooking in continuous and periodic boilers]. *Bumazhnaya prom-st'* [Paper Industry], 1990, no. 8, pp. 10–11.
- [10] Nikol'skiy S.N. *Opreделение perevodnykh koefitsientov polufabrikatov shchelochnykh i kislorodno-shchelochnykh sposobov varki* [Determination of the transfer coefficients of semi-finished products of alkaline and oxygen-alkaline methods of cooking]. *Bumazhnaya prom-st'* [Paper Industry], 1989, no. 6, pp. 9–10.
- [11] Nikol'skiy S.N., Gugnin M.Yu., Maylova A.A. *Vliyaniye vykhoda shchelochnykh tsellyuloz na perevodnoy koefitsient* [Influence of the yield of alkaline celluloses on the translated coefficient] *Khimiya drevesiny* [Chemistry of Wood], 1987, no. 5, pp. 115–116.
- [12] Nikol'skiy S.N., Gugnin M.Yu. *Otsenka lineynoy plotnosti volokon tekhnicheskoy tsellyulozy* [Estimating the Linear density of technical cellulose fibers]. *Khimiya drevesiny* [Timber Chemistry], 1988, no. 3, pp. 38–40.
- [13] Nikol'skiy S.N., Zhalina V.A., Kokkonen I.V., Ol'shevskaya N.E. *Opreделение perevodnykh koefitsientov tsellyuloz okislitel'nykh sposobov varki* [Determination of conversion factors of celluloses of oxidative cooking methods]. *Collected works of LTA «Paper and cardboard technology»*. Leningrad: LTA, 1989, pp. 10–13.
- [14] *GOST 7500–85. Bumaga i karton. Metody opredeleniya sostava po voloknu* [GOST 7500–85. Paper and paperboard. Methods for determining the composition of the fiber]. Moscow: Publishing House of Standards, 1987, 50 p.
- [15] Kovaleva K.I., Gorshkov V.V., Nikol'skiy S.N., Stovbun S.V. *Tekhnologicheskaya avtomatizirovannaya liniya fiziko-khimicheskoy modifikatsii tovarnoy tsellyulozy* [Technological automated line of physical and chemical modification of commodity pulp]. *Materials of the 18th International Scientific and Technical Conference The Year of Ecology in Russia and at the pulp and paper industry. Quality of recycled raw materials. Manufacture of paper and cardboard for corrugated packaging and packaging, «Karavaevo» 25–26 May 2017*, pp. 45–50.
- [16] *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva* [Technology of pulp and paper production]. In 3 t. St. Petersburg: Politechnica, 2005.
- [17] Obolenskaya A.V., El'nitskaya Z.P., Leonova A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow: Ecology, 1991, 320 p.
- [18] Gorbacheva G.A., Ivankin A.N., Sanaev V.G., Ageev A.K., Kiryukhin D.P., Kichigina G.A., Kushch P.P., Badamshina E.R. *Surface Modification of Cellulose-Containing Materials with Solutions of Tetrafluoroethylene Telomers*. *Russian J. Applied Chemistry*, 2017, v. 90, no. 8, pp. 1104–1110.
- [19] Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Kononov G.N. *Praktikum po khimii drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Workshop on chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MGUL Publ., 2006, 248 p.
- [20] Pashkevich M.F., Zholobov A.A., Mrochek Zh.A., Kozhuro L.M., Pashkevich V.M. *Issledovaniya i izobretatel'stvo v mashinostroeni. Pod obshch. red. M.F. Pashkevicha* [Research and invention in engineering]. Minsk: Adukacyiya i Vykhanne, 2005, 287 p.

Authors' information

Kovaleva Kseniya Igorevna — leading engineer of Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, kovaleva_kseniya@bk.ru

Gorshkov Vitaliy Valer'evich — Director of NPO ASU TP LLC, V.Gorshkov@npoasutt.pr

Politenkova Galina Grigor'evna — scientist, Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, g_politenkova@mail.ru

Mikhaleva Mariya Gennad'evna — Cand. Sci. (Phys.-Math.), research engineer, Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, wawe@bk.ru

Mel'nikov Valeriy Pavlovich — Cand. Sci. (Chem.), Head laboratories of the Institute of Chemical Physics RAS, Melnikov@chph.ras.ru

Gerasimov Dmitriy Sergeevich — deputy Director of Aleksinsky Chemical Combine, deputy General Director for Project Management of IL PJSC, info@ilushin.net

Nicol'skiy Sergey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chem.), senior scientist, Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, nikolskiy56@mail.ru

Stovbun Sergey Vital'evich — Dr. Sci. (Phys.-Math.), Head of laboratory of Semenov Institute of Chemical Physics of Russian Academy of Sciences, s.stovbun@chph.ras.ru

Received 09.02.2018.

Accepted for publication 08.11.2018.

УДК 504:661:691.1

DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-94-101

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СТРУКТУРЫ И ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА РАСТИТЕЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА СВОЙСТВА КОМПОЗИТОВ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННОГО НАЗНАЧЕНИЯ

И.В. Сусоева, Т.Н. Вахнина, А.А. Титунин

Костромской государственной университет, 156005, Россия, г. Кострома, ул. Дзержинского, д. 17

i.susoeva@yandex.ru

Рассмотрены виды растительных отходов, в том числе мягких отходов деревообработки и неиспользуемых отходов прядения льна и хлопка, которые можно использовать для производства композиционных материалов. Приведены результаты определения химического состава растительных волокон и неиспользуемых отходов их прядения, а также мягких древесных отходов; оценены объемы образования неиспользуемых отходов прядения льняных и хлопковых волокон. Предложен способ утилизации растительных отходов путем производства теплоизоляционных композиционных плитных материалов по технологии изготовления мягких древесноволокнистых плит мокрого способа производства. Приведены результаты определения физико-механических показателей плитных материалов, исследовано влияние соотношения состава наполнителя из дискретных растительных частиц на физико-механические показатели и теплопроводность композиционных плит.

Ключевые слова: отходы, хлопок, лен, опилки, кора, лигнин, целлюлоза, плиты, переработка, физико-механические показатели, коэффициент теплопроводности

Ссылка для цитирования: Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Титунин А.А. Оценка влияния структуры и химического состава растительного наполнителя на свойства композитов теплоизоляционного назначения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 94–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-94-101

В настоящее время рациональное потребление материальных ресурсов предполагает новый подход к использованию природных материалов. Острой становится проблема утилизации вторичных ресурсов, ее решение позволяет значительно снизить загрязнение биосферы. Государственная политика в области экологического развития России на период до 2030 г. [1] предусматривает решение следующих задач.

1. Предотвращение и снижение текущего негативного воздействия на окружающую среду.
2. Обеспечение экологически безопасного обращения с отходами.

В качестве механизмов решения данных экологических задач необходимо использовать ресурсосберегающие технологии. ГОСТ Р 54098–2010 [2] регламентирует в целях безопасного обращения и более полного использования ресурсного потенциала повторное вовлечение отходов в промышленное производство.

В соответствии с ГОСТ Р 54098–2010 «Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения» отходы производства — остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, иных изделий или продуктов, которые образовались в процессе производства или потребления, а также товары (продукция), утратившие свои потребительские свойства. Вторичные материальные ресурсы, для которых в настоящее время отсутствуют условия использования, называются неиспользуемыми отходами. Следует отметить, что неиспользуемые отходы являются значительным ресурсным потенциалом [3].

Цель работы

Цель работы — рассмотреть различные виды растительных отходов, в том числе мягких отходов деревообработки и неиспользуемых отходов прядения льна и хлопка, которые можно использовать для производства композиционных материалов, оценить объемы их образования, определить их химический состав, предложить способ утилизации растительных отходов.

Во всем мире рассматриваются возможности экологически безопасной утилизации растительных отходов [4–9]. Разрабатываются различные направления использования растительных отходов, в числе которых — производство этанола [10], целлюлозы [11–15], теплоизоляционных плит [16–18], однако на переработку отправляются в основном отходы в виде измельченных стеблей однолетников. Вопросы вовлечения неиспользуемых растительных отходов в хозяйственный оборот не решены до настоящего времени.

Биомасса растительных отходов состоит из органических полимеров — целлюлозы, гемицеллюлоз, а также из ароматического полимера — лигнина. Следует отметить, что сведения о составе растительного сырья, приводимые в российских и зарубежных публикациях, носят статистически неоднородный характер. Отечественные и зарубежные исследователи оперируют, как правило, результатами определения среднего арифметического для ряда значений того или иного показателя [19], который, в свою очередь зависит от большого числа факторов — вида растительного

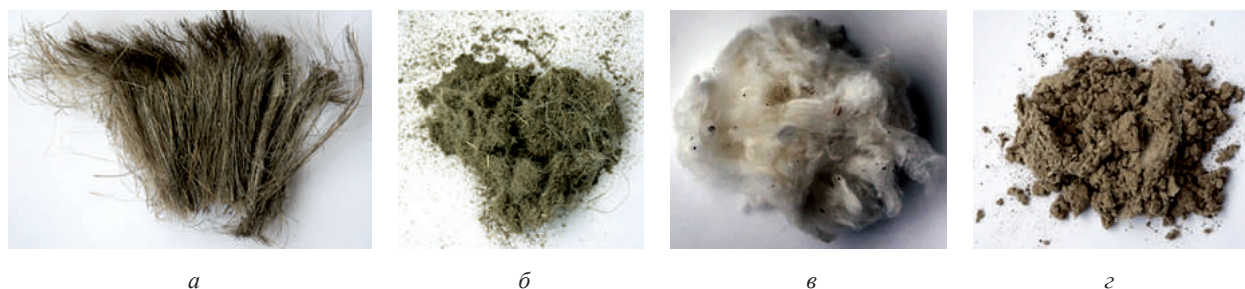


Рис. 1. Внешний вид растительных материалов: *a* — льняное волокно; *b* — отходы прядения льна; *в* — хлопковое волокно; *г* — отходы прядения хлопка

Fig. 1. Visual environment of vegetable materials: *a* — flax; *b* — waste spinning flax; *в* — cotton; *г* — waste cotton spinning

материала, части растения, из которой получен материал, географической зоны и условий произрастания.

По данным Х. Ханджанзаде (Н. Khanjanzadeh) и его коллег, лигноцеллюлозные отходы из стеблей хлопка содержат около 48 % целлюлозы, что близко к содержанию этого биополимера в древесине [14]. При этом исследователи отмечают, что содержание лигнина в древесине лиственных пород составляет от 30 до 35 %, в то время как по данным Б.Н. Уголева [20], содержание лигнина в лиственной древесине 19–24 %.

В публикации Н.И. Хайкира (N.I. Naykir) с коллегами приведено значение содержания целлюлозы в стебле хлопка 41 %, лигнина — 25 %, а в хлопке-сырце содержание целлюлозы 80–95 %, лигнин в хлопковых коробочках не обнаружен [12]. Также К. Верверис (С. Ververis) отмечает, что содержание лигнина и целлюлозы зависит от степени зрелости волокна, причем содержание лигнина в стебле хлопка составляет 15,4 % [15]. В исследовании Д.Л. Бринка (D.L. Brink) выполнен сравнительный химический анализ стеблей хлопчатника, волокна и угаров первичной обработки хлопка [10]. Результаты эксперимента показали отсутствие содержания лигнина и гемицеллюлоз в волокне хлопка, в то время как в стеблях хлопчатника доля лигнина составляет 24 %, а в угарах первичной обработки 20,56 %.

Такой же разброс результатов характерен и для анализа химического состава льна. По данным исследований Д. Воткинса (D. Watkins) и коллег, в льняном волокне содержится около 15 % лигнина [11]. По результатам анализа состава образцов волокна льна, выращенного в разных областях России, выполненного С.А. Кокшаровым с коллегами, содержание целлюлозы (63,3–65,2 %), лигнина (5,5–11,4 %) и других компонентов зависит от региона произрастания, вида льнотресты, зоны стебля [21]. Содержание целлюлозы в стеблях льна менее зависит от территориального признака и зоны стебля, в целом оно больше, чем в стебле хлопка.

На прядильных предприятиях значительную часть отходов составляют неиспользуемые отходы, применительно к типовому прядильному цеху они составляет 150 кг в сутки. Этот вид растительных отходов утилизируется путем вывоза на свалку или сжиганием. Одним из перспективных направлений утилизации отходов растительного сырья может быть их использование для производства композиционных плитных материалов строительного назначения. Существуют разработки этих материалов из древесных отходов и стеблей однолетников, однако данное направление применительно к неиспользуемым отходам прядильных производств в отечественной и зарубежной практике не разрабатывается. Исследования, проводимые в рамках данной работы, направлены на решение задачи утилизации неиспользуемых растительных отходов путем их использования в качестве дополнительного сырьевого ресурса в производстве теплоизоляционных композиционных плит.

Материалы и методы

Значительный разброс данных по составу растительного сырья, а также отсутствие результатов определения состава неиспользуемых отходов обуславливают необходимость экспериментального определения состава отходов прядения хлопка и льна и мягких отходов деревообработки.

В лаборатории кафедры Лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств (КГУ, г. Кострома) выполнено исследование показателей растительных однолетников (льна и хлопка), неиспользуемых отходов прядения хлопковых и льняных волокон [22] и мягких отходов древесины. Внешний вид растительных материалов однолетников представлен на рис. 1.

В табл. 1 представлены результаты физико-химического анализа состава растительных волокон, отходов их переработки [23], мягких отходов древесины. Волокно и отходы однолетников отбирались на льно- и хлопкопрядильных предприятиях, древесные отходы — на деревообрабатывающих предприятиях Костромской области.

Т а б л и ц а 1
Состав растительных материалов, %
The composition of plant materials, %

Растительный материал	Целлюлоза	Лигнин	Зольность
Хлопковое волокно	94,6	0,1	1,4
Льняное волокно	84,8	2,6	0,5
Отходы прядения:			
хлопка	44,0	22,7	17,0
льна	54,0	24,9	5,0
Опилки лиственных пород (береза)	33,6	23,0	0,3
Опилки хвойных пород (сосна)	42,0	25,7	0,3
Кора лиственных пород (береза)	18,0	20,5	3,5
Кора хвойных пород (сосна)	16,5	24,0	5,5

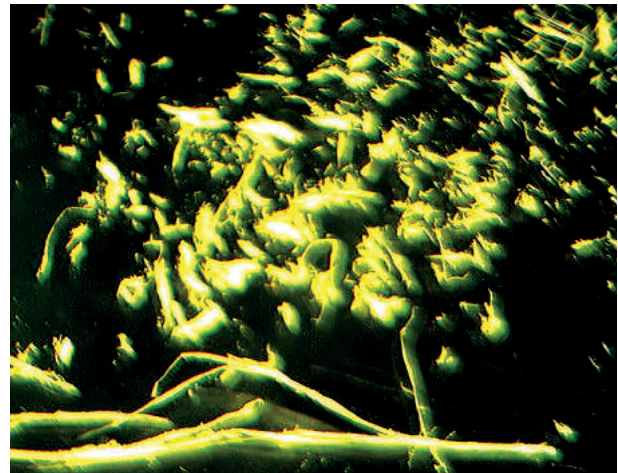
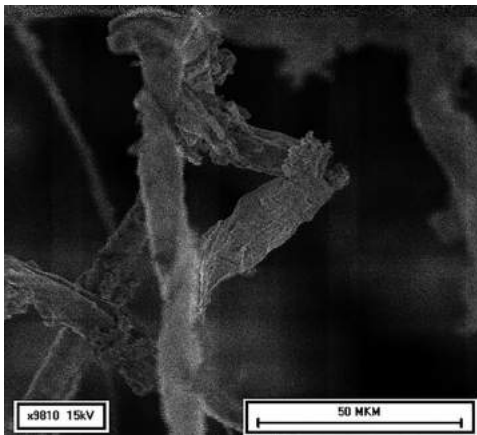
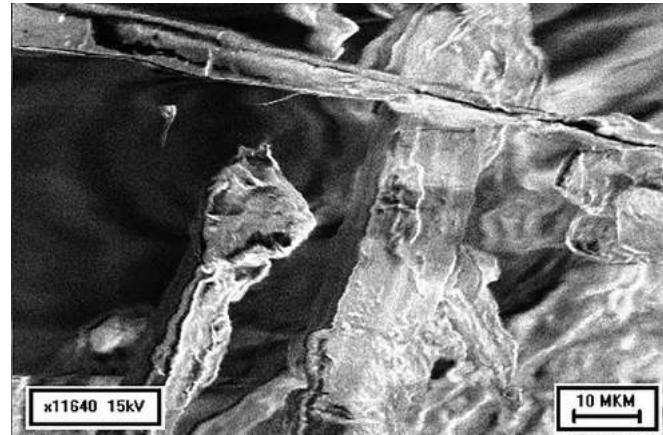


Рис. 2. Фото опилок под микроскопом МБС-10
Fig. 2. Photo of sawdust under a microscope МБС-10



a



b

Рис. 3. Фото отходов прядения волокна под микроскопом МС 20.1: а — льняного; б — хлопкового
Fig. 3. Photos of spinning waste fiber under microscope MS 20.1: a — flax; б — cotton

Т а б л и ц а 2
Физико-механические показатели композиционных плит из отходов прядения

Physical and mechanical properties of composite plates from spinning waste

Физико-механические показатели	Значения показателей при расходе связующего, %								
	0	2	4	8	12	16	20	24	30
Средняя плотность, кг/м ³	<u>262</u> 267	<u>264</u> 270	<u>266</u> 274	<u>268</u> 279	<u>271</u> 274	<u>270</u> 270	<u>269</u> 275	<u>270</u> 270	<u>266</u> 266
Средняя прочность при статическом изгибе, Мпа	<u>0,15</u> 0,30	<u>0,20</u> 0,34	<u>0,26</u> 0,38	<u>0,33</u> 0,43	<u>0,38</u> 0,47	<u>0,43</u> 0,49	<u>0,44</u> 0,53	<u>0,45</u> 0,56	<u>0,49</u> 0,60
Разбухание по толщине, %	<u>25,0</u> 18,8	<u>22,5</u> 16,0	<u>20,8</u> 15,0	<u>18,7</u> 13,4	<u>17,6</u> 12,2	<u>16,9</u> 10,9	<u>16,1</u> 10,0	<u>15,6</u> 9,2	<u>13,9</u> 8,3
Водопоглощение, %	<u>226</u> 203	<u>215</u> 197	<u>209</u> 189	<u>200</u> 180	<u>191</u> 169	<u>182</u> 160	<u>171</u> 152	<u>163</u> 144	<u>150</u> 130
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	<u>0,081</u> 0,049	<u>0,083</u> 0,050	<u>0,084</u> 0,051	<u>0,085</u> 0,052	<u>0,086</u> 0,053	<u>0,087</u> 0,054	<u>0,088</u> 0,055	<u>0,089</u> 0,056	<u>0,090</u> 0,058

Примечание. Над чертой — для плит из хлопка, под чертой — для плит из льна.

Т а б л и ц а 3

**Физико-механические показатели плит из отходов прядения хлопка
и льна с добавкой мягких отходов древесины**

**Physic-mechanical indicators of plates from spinning waste of cotton
and flax with the addition of soft waste wood**

Физико-механические показатели	Значения показателей при расходе связующего, %								
	0	2	4	8	12	16	20	24	30
<i>С добавкой 50 % от массы наполнителя опилок лиственных пород (береза)</i>									
Средняя плотность, кг/м ³	<u>267</u> 277	<u>270</u> 279	<u>273</u> 278	<u>271</u> 280	<u>270</u> 279	<u>268</u> 279	<u>263</u> 279	<u>267</u> 268	<u>261</u> 267
Средняя прочность при статическом изгибе, Мпа	<u>0,13</u> 0,27	<u>0,18</u> 0,33	<u>0,23</u> 0,37	<u>0,30</u> 0,40	<u>0,35</u> 0,45	<u>0,39</u> 0,48	<u>0,42</u> 0,52	<u>0,44</u> 0,55	<u>0,46</u> 0,57
Разбухание по толщине, %	<u>26,1</u> 19,9	<u>22,9</u> 16,7	<u>21,7</u> 15,6	<u>19,7</u> 14,3	<u>18,7</u> 13,4	<u>18,1</u> 12,0	<u>17,2</u> 11,2	<u>16,1</u> 10,5	<u>14,9</u> 9,4
Водопоглощение, %	<u>232</u> 209	<u>220</u> 203	<u>214</u> 195	<u>206</u> 186	<u>196</u> 175	<u>186</u> 166	<u>175</u> 158	<u>167</u> 150	<u>155</u> 134
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	<u>0,081</u> 0,05	<u>0,084</u> 0,051	<u>0,084</u> 0,051	<u>0,086</u> 0,052	<u>0,087</u> 0,053	<u>0,088</u> 0,054	<u>0,089</u> 0,055	<u>0,09</u> 0,056	<u>0,091</u> 0,058
<i>С добавкой 50 % от массы наполнителя опилок хвойных пород (сосна)</i>									
Средняя плотность, кг/м ³	<u>265</u> 273	<u>268</u> 275	<u>272</u> 279	<u>275</u> 274	<u>271</u> 279	<u>268</u> 274	<u>264</u> 270	<u>270</u> 278	<u>267</u> 273
Средняя прочность при статическом изгибе, Мпа	<u>0,13</u> 0,28	<u>0,18</u> 0,32	<u>0,23</u> 0,36	<u>0,30</u> 0,42	<u>0,35</u> 0,45	<u>0,39</u> 0,50	<u>0,41</u> 0,53	<u>0,43</u> 0,55	<u>0,46</u> 0,58
Разбухание по толщине, %	<u>26,0</u> 20,7	<u>23,4</u> 17,3	<u>22,0</u> 16,0	<u>19,9</u> 15,0	<u>19,0</u> 14,0	<u>18,4</u> 12,3	<u>17,4</u> 11,9	<u>16,7</u> 11,1	<u>15,5</u> 10,0
Водопоглощение, %	<u>234</u> 210	<u>223</u> 205	<u>217</u> 197	<u>210</u> 188	<u>199</u> 178	<u>189</u> 169	<u>178</u> 161	<u>169</u> 154	<u>157</u> 139
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	<u>0,081</u> 0,051	<u>0,084</u> 0,051	<u>0,085</u> 0,052	<u>0,086</u> 0,053	<u>0,086</u> 0,054	<u>0,087</u> 0,055	<u>0,088</u> 0,056	<u>0,089</u> 0,058	<u>0,090</u> 0,058
<i>С добавкой 50 % от массы наполнителя коры лиственных пород (береза)</i>									
Средняя плотность, кг/м ³	<u>277</u> 273	<u>279</u> 275	<u>274</u> 279	<u>278</u> 275	<u>273</u> 270	<u>278</u> 276	<u>273</u> 271	<u>279</u> 276	<u>274</u> 272
Средняя прочность при статическом изгибе, Мпа	<u>0,13</u> 0,27	<u>0,19</u> 0,34	<u>0,24</u> 0,35	<u>0,32</u> 0,41	<u>0,36</u> 0,44	<u>0,40</u> 0,48	<u>0,42</u> 0,52	<u>0,44</u> 0,54	<u>0,46</u> 0,59
Разбухание по толщине, %	<u>26,4</u> 20,2	<u>23,7</u> 17,0	<u>22,4</u> 15,9	<u>20,1</u> 14,6	<u>19,3</u> 13,6	<u>18,7</u> 12,5	<u>17,6</u> 11,5	<u>17,0</u> 10,9	<u>14,5</u> 9,7
Водопоглощение, %	<u>234</u> 210	<u>221</u> 206	<u>214</u> 198	<u>206</u> 189	<u>197</u> 179	<u>188</u> 170	<u>177</u> 162	<u>169</u> 155	<u>156</u> 138
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	<u>0,082</u> 0,051	<u>0,085</u> 0,051	<u>0,085</u> 0,053	<u>0,086</u> 0,054	<u>0,088</u> 0,056	<u>0,088</u> 0,056	<u>0,089</u> 0,057	<u>0,090</u> 0,058	<u>0,091</u> 0,059
<i>С добавкой 50 % от массы наполнителя коры хвойных пород (сосна)</i>									
Средняя плотность, кг/м ³	<u>273</u> 270	<u>275</u> 272	<u>270</u> 278	<u>275</u> 274	<u>272</u> 271	<u>279</u> 278	<u>275</u> 273	<u>270</u> 270	<u>276</u> 277
Средняя прочность при статическом изгибе, Мпа	<u>0,13</u> 0,27	<u>0,18</u> 0,34	<u>0,24</u> 0,37	<u>0,31</u> 0,42	<u>0,36</u> 0,45	<u>0,4</u> 0,49	<u>0,42</u> 0,51	<u>0,43</u> 0,55	<u>0,46</u> 0,59
Разбухание по толщине, %	<u>26,9</u> 20,9	<u>24,4</u> 18,0	<u>23,0</u> 16,7	<u>20,7</u> 15,4	<u>19,9</u> 14,1	<u>19,3</u> 12,9	<u>18,0</u> 12,0	<u>17,2</u> 11,4	<u>15,2</u> 10,5
Водопоглощение, %	<u>235</u> 211	<u>223</u> 206	<u>218</u> 199	<u>211</u> 191	<u>201</u> 179	<u>191</u> 170	<u>180</u> 162	<u>171</u> 154	<u>159</u> 140
Коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К)	<u>0,083</u> 0,051	<u>0,085</u> 0,052	<u>0,085</u> 0,053	<u>0,086</u> 0,054	<u>0,087</u> 0,055	<u>0,088</u> 0,056	<u>0,088</u> 0,057	<u>0,090</u> 0,058	<u>0,091</u> 0,059
<i>Примечание. Над чертой — для плит из хлопка, под чертой — для плит из льна.</i>									

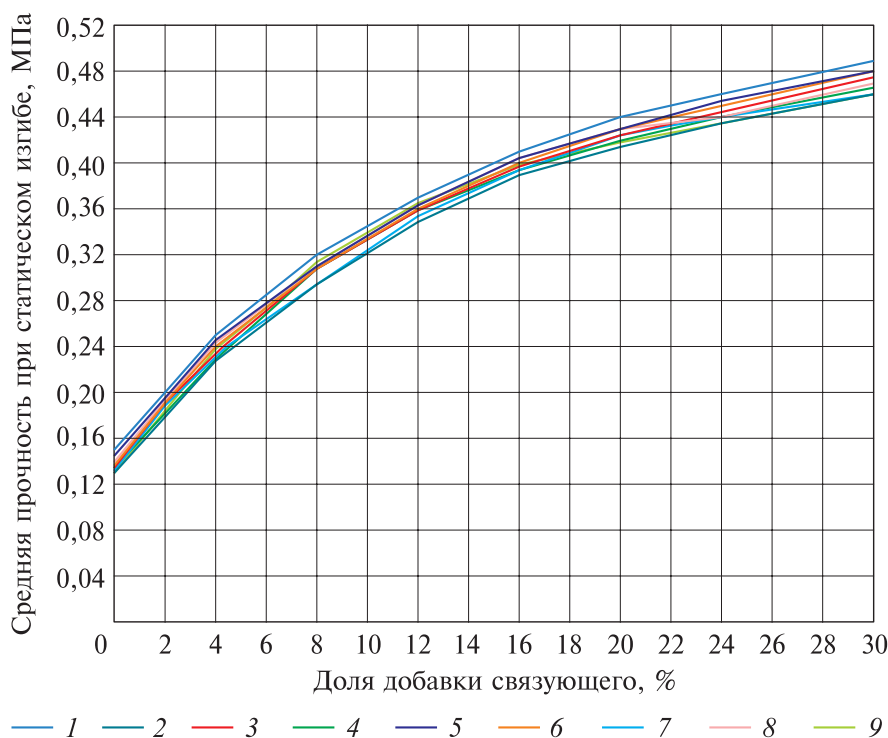


Рис. 4. Влияние доли связующего (СФЖ) на прочность при статическом изгибе материалов из неиспользуемых отходов производства хлопкового волокна: 1 — без добавки мягких отходов древесины; 2 — с добавкой 20% опилок лиственных пород (береза); 3 — с добавкой 50% опилок лиственных пород (береза); 4 — с добавкой 20% опилок хвойных пород (сосна); 5 — с добавкой 50% опилок хвойных пород (сосна); 6 — с добавкой 20% коры лиственных пород (береза); 7 — с добавкой 50% коры лиственных пород (береза); 8 — с добавкой 20% коры хвойных пород (сосна); 9 — с добавкой 50% коры хвойных пород (сосна)

Fig. 4. The effect of the share of the binder (PP) on the strength during static bending of materials from unused cotton fiber production waste: 1 — without the addition of soft waste wood; 2 — with the addition of 20% sawdust hardwood (birch); 3 — with the addition of 50% sawdust hardwood (birch); 4 — with the addition of 20% softwood sawdust (pine); 5 — with the addition of 50% coniferous sawdust (pine); 6 — with the addition of 20% hardwood bark (birch); 7 — with the addition of 50% hardwood bark (birch); 8 — with the addition of 20% of coniferous bark (pine); 9 — with the addition of 50% coniferous bark (pine)

Содержание целлюлозы в образцах растительных материалов определялось азотно-спиртовым методом [23, 24], содержание лигнина определялось стандартным сернокислым методом (ГОСТ 11960–79). Зольность образцов растительных материалов определяли методом прокаливания в муфельной печи до полного удаления всего углерода [23, 24].

Фотографии растительных отходов, выполненные авторами с использованием микроскопов МБС-10 и МС 20.1, представлены на рис. 2, 3.

Из растительных отходов, включая мягкие отходы деревообработки, были изготовлены образцы композиционных плитных материалов теплоизоляционного назначения. Композиционный материал изготавливался средней плотности 260–280 кг/м³, расход связующего (смолы фенолоформальдегидной марки СФЖ-3014) варьировался от 2 до 30% массовых частей. Образцы материала сушились при 100 °С. Результаты определения показателей композитов представлены в табл. 2, 3 и на рис. 4.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования выявили значительные различия в химическом составе волокон однолетних и пылевидных отходов их прядения. Содержание целлюлозы, лигнина и зольность для отходов деревообработки, полученные в данном исследовании, соответствуют средним значениям показателей для древесины [20, 25].

Значительное повышение зольности в пылевидных отходах прядения растительных волокон обусловлено загрязнением минеральными веществами: отходы прядения транспортируются в пылевую камеру в общем потоке отходов уборки цехов. Изменение соотношения «целлюлоза — лигнин» объясняется наличием в пылевидных отходах прядения большого количества измельченных стеблей, коробочек и других отходов однолетних. Для измельченных стеблей однолетних и коробочек характерно более высокое содержание лигнина, близкое к значению показателя для древесины.

Разнообразие химического состава и геометрических характеристик мягких растительных отходов приводит к значительному разбросу физико-механических показателей плит, изготовленных из этих наполнителей. Следует отметить, что химический состав и геометрия растительных отходов оказывают комплексное влияние на показатели композиционных плит, изготовленных из данных наполнителей.

Растительные отходы с большим содержанием целлюлозы обеспечивают при сопоставимых значениях прочих факторов более высокие значения физико-механических показателей плит. Влияет и содержание в растительных материалах лигнина. Более высокое количество лигнина дает большее количество гидроксидов фенилпропановых единиц, что способствует образованию дополнительных связей с полимерной матрицей. Однако, учитывая незначительный разброс в содержании лигнина в растительных материалах, влияние доли лигнина на физико-механические показатели является более сглаженным, чем влияние доли целлюлозы.

Увеличение зольности ухудшает физико-механические показатели, однако это объясняется не содержанием минеральных компонентов в структуре растительной клетки, а засоренностью материала в процессах сбора и транспортировки отходов. С увеличением массовой доли связующего влияние вида материала наполнителя на значения физико-механических свойств композиционных плит оказывается менее значимым, поскольку более существенным становится влияние доли полимерной матрицы. На коэффициент теплопроводности вид наполнителя влияет меньше, чем массовая доля связующего, это объясняется более высокой теплопроводностью полимеров в сравнении с данным показателем для растительных материалов.

Выводы

Таким образом, определены виды растительных отходов, включая неиспользуемые отходы прядения льна и хлопка, которые можно использовать для производства композиционных материалов, изучены химические свойства растительных волокон и их отходов; определены физико-механические показатели и коэффициент теплопроводности плитных материалов из растительных отходов.

Для всех видов растительных наполнителей увеличение доли добавки связующего приводит к повышению прочности материала, причем более прочными являются композиционные материалы из пылевидных отходов переработки льна.

Список литературы

[1] Распоряжение Правительства Российской Федерации № 2423-р. О плане действий по реализации Основ государственной политики в области экологического

развития Российской Федерации на период до 2030 г. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902388109> (дата обращения 01.09.2018).

- [2] ГОСТ Р 54098–2010. Ресурсосбережение. Вторичные материальные ресурсы. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200086000> (дата обращения 30.08.2018).
- [3] Титунин А.А., Каравайков В.М., Вахнина Т.Н. Эколого-экономические аспекты безотходных технологий переработки лесных ресурсов. М.: Новые технологии, 2007. 60 с.
- [4] Вахнина Т.Н. Использование мягких отходов переработки древесины для производства древесно-стружечных плит // Сборник трудов IV Международной научно-экологической конференции: Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства, Краснодар, КубГАУ, 24–25 марта 2015. Краснодар: КубГАУ, 2015. С. 359–363.
- [5] Способ изготовления плит из стеблей однолетних растений: Патент 1825734 Российская Федерация, МПК В27N3/04,3/02 / Негматов С.С., Абдраимов И., Хван Б.Н., Маллаев Д.Э., Казаков Б.Т.; заявитель и патентообладатель Ташкентский политехнический институт. № 4789913/15, заявл. 13.11.1989, опубл. 07.07.1993, бюл. № 25.
- [6] Аккерман А.С., Антакова В.Н., Бабайлов В.Е. Плитные материалы и изделия из древесины и одревесневших растительных остатков без добавления связующих. М.: Лесная промышленность, 1976. 360 с.
- [7] Соломатов В.И., Черкасов В.Д., Ерофеев В.Т. Строительные биотехнологии и биокомпозиты. М.: МИИТ, 1998. 166 с.
- [8] Титунин А.А., Вахнина Т.Н. Исследование эксплуатационных показателей древесных композиционных материалов с использованием вторичного древесного сырья // Научно-технический журнал. Вестник МГСУ, 2011. № 7. С. 641–645.
- [9] Титунин А.А., Ибрагимов А.М., Угрюмов С.А., Зайцева К.В., Вахнина Т.Н. Развитие межотраслевых связей при использовании природных материалов // Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности, 2015. № 5 (358). С. 227–233.
- [10] Brink D.L. Making alcohol from cotton gin waste and cotton stalks // *Proceedings of the Symposium Cotton Gin Trash Utilization Alternatives*. Hanford: University of California Cooperative Extension, 1981, pp. 20–27.
- [11] Watkins D., Nuruddin M., Hosur M., Tcherbi-Narteh A., Jeelani S. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources // *J. Mater Res Technol*, 2015, no. 4, pp. 26–32.
- [12] Haykir N.I., Bahcegul E., Bicak N., Bakir U. Pretreatment of cotton stalk with ionic liquids including 2-hydroxy ethyl ammonium formate to enhance biomass digestibility // *Industrial Crops and Products*, 2012, no. 41, pp. 430–436.
- [13] Hoffenauf Besserang // *Holz- und Kunststoffverarb*, 2001, v. 37, no. 7, pp. 45–46.
- [14] Khanjanzadeh H., Bahmani A.A., Rafiqhi A., Tabarsa T. Utilization of bio-waste cotton (*Gossypium hirsutum* L.) stalks and underutilized paulownia (*paulownia fortunei*) in wood-based composite particleboard // *African J of Biotechnology*, 2012, v. 11(31), pp. 8045–8050.
- [15] Ververis C., Georghiou K., Christodoulakis N., Santas P., Santas R. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and the suitability for paper production // *Industrial Crops and Products*, 2004, no. 19, pp. 245–254.
- [16] Арбузов В.В. Композиционные материалы из лигниновых веществ. М.: Экология, 1991. 208 с.

- [17] Wenlong W., Gardner D.J., Baumann M.G. Volatile organic compound emissions during hot-pressing of southern pine particleboard: panel size and trade-off between press time and temperature // *Forest Prod. J.*, 2012, no. 4, pp. 24–30.
- [18] Zubehör: Möbel und Innenausbau // *Holz- und Kunststoffvererb: Internationale Fachzeitschrift für Unternehmen und Führungskräfte*, 2011, no. 9, pp. 48–52.
- [19] Волинский В.Н. Взаимосвязь и изменчивость показателей физико-механических свойств древесины. Архангельск: АГТУ, 2006. 196 с.
- [20] Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесная промышленность, 1989. 296 с.
- [21] Кокшаров С.А., Алеева С.В., Кудряшова Т.А., Кудряшов А.Ю. Свойства льняного волокна селекционного сорта льна-долгунца «А-93» с опытных участков в Тверской и Костромской областях // *Химия растительного сырья*, 2008. № 3. С. 51–54.
- [22] Ибрагимов А.М., Вахнина Т.Н., Сусоева И.В. Опыт использования пылевидных лигноцеллюлозных отходов текстильных предприятий в качестве наполнителя для строительных композиционных материалов // *Фундаментальные, поисковые и прикладные исследования РААСН по научному обеспечению развития архитектуры, градостроительства и строительной отрасли Российской Федерации в 2015 году: Сборник научных трудов РААСН / под ред. А.В. Кузьмина. М.: АСВ, 2016. 483–488 с.*
- [23] Сусоева И.В., Вахнина Т.Н., Свиридов А.В. Химический состав и способ утилизации отходов производства хлопковых и льняных волокон // *Химия растительного сырья*, 2017. № 3. С. 211–220.
- [24] Азаров В.И., Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М.: Экология, 1991. 320 с.
- [25] Новый справочник химика и технолога. Ч. 2: Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ / под ред. Ю.В. Поконовой. СПб.: Мир и Семья, Профессионал, 2005. 1142 с.

Сведения об авторах

Вахнина Татьяна Николаевна — канд. техн. наук, доцент КГУ, t_vachnina@mail.ru

Сусоева Ирина Вячеславовна — канд. техн. наук, доцент КГУ, i.susoeva@yandex.ru

Титунин Андрей Александрович — д-р техн. наук, профессор КГУ, titunin62@mail.ru

Поступила в редакцию 22.10.2018.

Принята к публикации 21.12.2018.

ASSESSMENT OF STRUCTURE AND CHEMICAL COMPOSITION VEGETABLE FILLER INFLUENCE ON COMPOSITES PROPERTIES OF HEAT-INSULATING PURPOSE

I.V. Susoeva, T.N. Vachnina, A.A. Titunin

Kostroma State University, 17, Dzerzhinsky st., 156005, Kostroma, Russia

i.susoeva@yandex.ru

In article types of vegetable waste, including soft waste of a woodworking and irretrievable dust-like waste of spinning of a flax and cotton which can be used for production of composite materials are considered. Results definitions of the chemical composition of vegetable fibers and irretrievable waste of their spinning and also soft wood waste are given; volumes of formation of irrevocable waste of spinning of linen and cotton fibers are estimated. The way of utilization of vegetable waste by production of heat-insulating composite slabby materials on manufacturing techniques of soft fiber boards of a wet way of production is offered. Results definitions of physic-mechanical indicators of slabby materials are given, influence of a ratio of composition of filler from discrete vegetable particles on physicomechanical indicators and heat conductivity of composite plates is investigated.

Keywords: waste, cotton, linen, sawdust, bark, lignin, cellulose, plates, processing, physical-mechanical properties, coefficient of thermal conductivity

Suggested citation: Susoeva I.V., Vachnina T.N., Titunin A.A. *Otsenka vliyaniya struktury i khimicheskogo sostava rastitel'nogo napolnitelya na svoystva kompozitov teploizolyatsionnogo naznacheniya* [Assessment of structure and chemical composition vegetable filler influence on composites properties of heat-insulating purpose]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 94–101. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-94-101

References

- [1] *Rasporyazhenie Pravitel'stva Rossiyskoy Federatsii № 2423-r: O plane deystviy po realizatsii Osnov gosudarstvennoy politiki v oblasti ekologicheskogo razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g.* [Order of the Government of the Russian Federation No. 2423-r. About the action plan for realization of Bases of state policy for ecological development of the Russian Federation until 2030]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902388109> (accessed 01.09.2018).
- [2] *GOST 54098–2010. Resursosberezhnie. Vtorichnye material'nye resursy. Terminy i opredeleniya* [State standard specification. Resource-saving. Secondary material resources. Terms and definitions]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200086000> (accessed 30.08.2018).

- [3] Titunin A.A., Karavaykov V. M., Vakhnina T. N. *Ekologo-ekonomicheskie aspekty bezotkhodnykh tekhnologiy pererabotki lesnykh resursov* [Ekologo-ekonomichesky aspects of waste-free technologies of processing of forest resources]. Moscow: Novye tekhnologii, 2007, 60 p.
- [4] Vakhnina T.N. *Ispol'zovanie myagkikh otkhodov pererabotki drevesiny dlya proizvodstva drevesno-struzhechnykh plit* [Use of soft waste of processing of wood for production of wood-shaving plates] Sbornik trudov IV Mezhdunarodnoy nauchno-ekologicheskoy konferentsii: Problemy rekul'tivatsii otkhodov byta, promyshlennogo i sel'skokhozyaystvennogo proizvodstva, Krasnodar, KubGAU, 24–25 marta 2015. Krasnodar: KubGAU, 2015, pp. 359–363.
- [5] Negmatov S.S., Abdairaimov I., Khvan B.N., Mallaev D.E., Kazakov B.T. *Sposob izgotovleniya plit iz stebley odnoletnikh rasteniy* [Way of production of plates from stalks of annual plants] Pat. 1825734 Rossiyskaya Federatsiya, MPKB27N3/04,3/02, zayavitel' i patentoobladatel' Tashkentskiy politekhnicheskii institut. № 4789913/15, zayavl. 13.11.1989, opubl. 07.07.1993, bul. no. 25.
- [6] Akkerman A.S., Antakova V.N., Babaylov V.E. *Plitnye materialy i izdeliya iz drevesiny i odrevesnevshikh rastitel'nykh ostatkov bez dobavleniya svyazuyushchikh* [Slabby materials and products from wood and the lignified vegetable remains without addition of binding]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1976, 360 p.
- [7] Solomatov V.I., Cherkasov V.D., Erofeev V.T. *Stroitel'nye biotekhnologii i biokompozity* [Construction biotechnologies and biocomposites]. Moscow: MIIT, 1998, 166 p.
- [8] Titunin A.A., Vakhnina T.N. *Issledovanie ekspluatatsionnykh pokazateley drevesnykh kompozitsionnykh materialov s ispol'zovaniem vtorichnogo drevesnogo syr'ya* [Research of operational indicators of wood composite materials with use of secondary wood raw materials] // Nauchno-tekhnicheskii zhurnal Vestnik MGSU, 2011, no. 7, pp. 641–645.
- [9] Titunin A.A., Ibragimov A.M., Ugryumov S.A., Zaytseva K.V., Vakhnina T.N. *Razvitiye mezhotraslevykh svyazey pri ispol'zovanii prirodnykh materialov* [Development of interindustry communications when using natural materials]. Izvestiya vysshih uchebnykh zavedeniy. Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti, 2015, no. 5 (358), pp. 227–233.
- [10] Brink D.L. Making alcohol from cotton gin waste and cotton stalks. In Proceedings of the Symposium Cotton Gin Trash Utilization Alternatives. Hanford: University of California Cooperative Extension, 1981, pp. 20–27.
- [11] Watkins D., Nuruddin M., Hosur M., Tcherbi-Narteh A., Jeelani S. Extraction and characterization of lignin from different biomass resources. *J. Mater Res Technol*, 2015, no. 4, pp. 26–32.
- [12] Haykir N.I., Bahcegul E., Bicaş N., Bakir U. Pretreatment of cotton stalk with ionic liquids including 2-hydroxy ethyl ammonium formate to enhance biomass digestibility. *Industrial Crops and Products*, 2012, no. 41, pp. 430–436.
- [13] Hoffenauf Besserang. *Holz- und Kunststoffverarb*, 2001, v. 37, no. 7, pp. 45–46.
- [14] Khanjanzadeh, H., Bahmani A.A., Rafiqi A., Tabarsa T. Utilization of bio-waste cotton (*Gossypium hirsutum* L.) stalks and underutilized paulownia (*paulownia fortunei*) in wood-based composite particleboard. *African J. of Biotechnology*, 2012, v. 11(31), pp. 8045–8050.
- [15] Ververis C., Georghiou K., Christodoulakis N., Santas P., Santas R. Fiber dimensions, lignin and cellulose content of various plant materials and the suitability for paper production. *Industrial Crops and Products*, 2004, no. 19, pp. 245–254.
- [16] Arbuzov V.V. *Kompozitsionnye materialy iz ligninnykh veshchestv* [Composite materials from the ligninnykh of substances]. Moscow: Ekologiya, 1991, 208 p.
- [17] Wenlong W., Gardner D.J., Baumann M.G. Volatile organic compound emissions during hot-pressing of southern pine particleboard: panel size and trade-off between press time and temperature. *Forest Prod. J.*, 2012, no. 4, pp. 24–30.
- [18] Zubehör: Möbel und Innenausbau. *Holz- und Kunststoffverarb*: Internationale Fachzeitschrift für Unternehmen und Führungskräfte, 2011, no. 9, pp. 48–52.
- [19] Volynskiy V.N. *Vzaimosvyaz' i izmenchivost' pokazateley fiziko-mekhanicheskikh svoystv drevesiny* [Interrelation and variability of indicators of physicomechanical properties of wood]. Arhangel'sk, AGTU, 2006, 196 p.
- [20] Borovikov A.M., Ugolev B.N. *Spravochnik po drevesine* [Reference book on wood]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1989, 296 p.
- [21] Koksharov S.A. Aleeva S.V., Kudryashova T.A., Kudryashov A. Yu. *Svoystva l'nyanogo volokna selektsionnogo sorta l'na-dolguntsa «A-93» s opytnykh uchastkov v Tverskoy i Kostromskoy oblastiakh* [Properties of linen fiber of a selection grade of a fiber flax «A-93» from skilled sites in the Tver and Kostroma regions]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2008, no. 3, pp. 51–54.
- [22] Ibragimov A.M., Vakhnina T.N., Susoeva I.V. *Opyt ispol'zovaniya pylevidnykh lignotsellyuloznykh otkhodov tekstil'nykh predpriyatiy v kachestve napolnitelya dlya stroitel'nykh kompozitsionnykh materialov* [Experience of use dust-like the lignotsellyuloznykh of waste of the textile enterprises as filler for construction composite materials] *Fundamental'nye, poiskovye i prikladnye issledovaniya RAASN po nauchnomu obespecheniyu razvitiya arkhitektury, gradostroitel'stva i stroitel'noy otrasli Rossiyskoy Federatsii v 2015 godu: Sbornik nauchnykh trudov RAASN*. Ed. Kuz'min A.V. Moscow: ASV, 2016, pp. 483–488.
- [23] Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Sviridov A.V. Susoeva I.V., Vakhnina T.N., Sviridov A.V. *Khimicheskii sostav i sposoby utilizatsii otkhodov proizvodstva khlopkovykh i l'nyanykh volokon* [The chemical composition and method utilization of production waste cotton and linen fibers]. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2017, no. 3, pp. 211–220.
- [24] Azarov V.I., Obolenskaya A.B., El'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy* [Laboratory work on chemistry of wood and cellulose]. Moscow: Ekologiya, 1991, 320 p.
- [25] *Novyy spravochnik khimika i tekhnologa. Syr'e i produkty promyshlennosti organicheskikh i neorganicheskikh veshchestv* [New reference book by the chemist and technologist. Raw materials and products of the industry of organic and inorganic substances] Ed. Yu.V. Pokonova, p. 2. Saint Petersburg: Mir i Sem'ya, Professional, 2005, 1142 p.

Authors' information

Vakhnina Tat'yana Nikolaevna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the Kostroma state University, t_vakhnina@mail.ru

Susoeva Irina Vyacheslavovna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the Kostroma State University, i.susoeva@yandex.ru

Titunin Andrej Aleksandrovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Kostroma State University, titunin62@mail.ru

Received 22.10.2018.

Accepted for publication 21.12.2018.

ПОВЕДЕНИЕ ЭКСТРАКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ «БУРОЙ ГНИЛИ» ПРИ ТЕРМИЧЕСКИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ И ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Г.Н. Кононов¹, А.Н. Веревкин¹, Ю.В. Сердюкова¹,
В.Д. Зайцев¹, Н.Л. Горячев², А.С. Воликова¹

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

²ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», 141260, Московская область, Пушкинский р-н, пос. Правдинский, ул. Ленина, д. 15/1

kononov@mgul.ac.ru

Древесина является уникальным природным материалом, имеющим широкое применение во многих отраслях хозяйства. Однако большое количество заготавливаемой древесины переводится в разряд низкокачественной благодаря наличию так называемых «гнилей». Древесина с «бурой гнилью» не имеет практического применения и является технологическим отходом. Однако по нашему мнению микологически разрушенную древесину с «бурой гнилью» можно использовать в качестве перспективного терморективного сырья для получения различного рода продуктов и материалов. В статье приводится теоретическое обоснование использования экстрактивных веществ «бурой гнили» в различных химико-технологических процессах, связанных с применением повышенных температур. Приводятся теоретически возможные химические реакции между экстрактивными веществами и лигнинсодержащими продуктами, протекающие при термическом воздействии. Авторами проведены исследования по использованию микологически разрушенной древесины для получения лигноуглеводных пластиков, гранулированного угля на основе гидролизного лигнина и поликонденсационных полимеров. Наилучшие результаты при получении лигноуглеводных пластиков достигается при использовании смеси «белой гнили», выполняющей роль волокнистой матрицы, и «бурой гнили», функционирующей в качестве армирующего связующего, в соотношении 54:46. Также установлено, что наибольший количественный эффект при получении угля-сырца достигается при пиролизе композиции, содержащей 15 % микологически разрушенной древесины и 85 % гидролизного лигнина, а использование предварительно проэкстрагированной микологически разрушенной древесины приводит к закономерному снижению выхода и содержания нелетучего углерода в ней. Большое содержание низкомолекулярных экстрактивных веществ позволяет целенаправленно экстрагировать «бурую гниль» и использовать полученные низкомолекулярные вещества непосредственно для органического синтеза. Установлено, что при выпаривании и термической обработке экстрактивных веществ «бурой гнили» можно получить фенопласты и полиэферы, нерастворимые в воде.

Ключевые слова: микологически разрушенная древесина, лигноуглеводные пластики, гранулированный уголь, фенопласты

Ссылка для цитирования: Кононов Г.Н., Веревкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Зайцев В.Д., Горячев Н.Л., Воликова А.С. Поведение экстрактивных веществ «бурой гнили» при термических воздействиях и возможные пути их использования // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 102–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-102-109

Рациональное использование лесных ресурсов является важной экономической задачей. Однако среди заготавливаемой древесины большое количество лесоматериалов является низкокачественным. Основным пороком, снижающим качество древесины, является так называемая «гниль», образующаяся за счет жизнедеятельности дереворазрушающих грибов. До 85 % сортиментов попадают в разряд низкокачественных из-за наличия «гнили», и только 15 % из-за остальных пороков древесины [1]. Микологически разрушенная древесина на данный момент не имеет технологического применения и является обременительным отходом. Однако, с нашей точки зрения, древесина, микологически разрушенная грибами, вызывающих «бурую гниль», является сырьем, обогащенным ароматической составляющей, позволяющей использовать ее в

различных химических технологиях для получения ценных продуктов и материалов.

Лигнин древесины в результате микологического воздействия подвергается процессам деструктивного окисления и фрагментации [2–15]. Появляющиеся в процессе его окисления новые функциональные группы могут участвовать в реакциях конденсации, а образовавшиеся низкомолекулярные экстрактивные вещества ароматической природы могут выступать в роли сшивающих агентов при образовании пространственных структур. Это делает «бурую гниль» терморективным природным композитом, обуславливающим возможность использования его в различных термических процессах.

При термическом воздействии лигнин микологически разрушенной древесины может вступать во взаимодействие с карбонилсодержащими

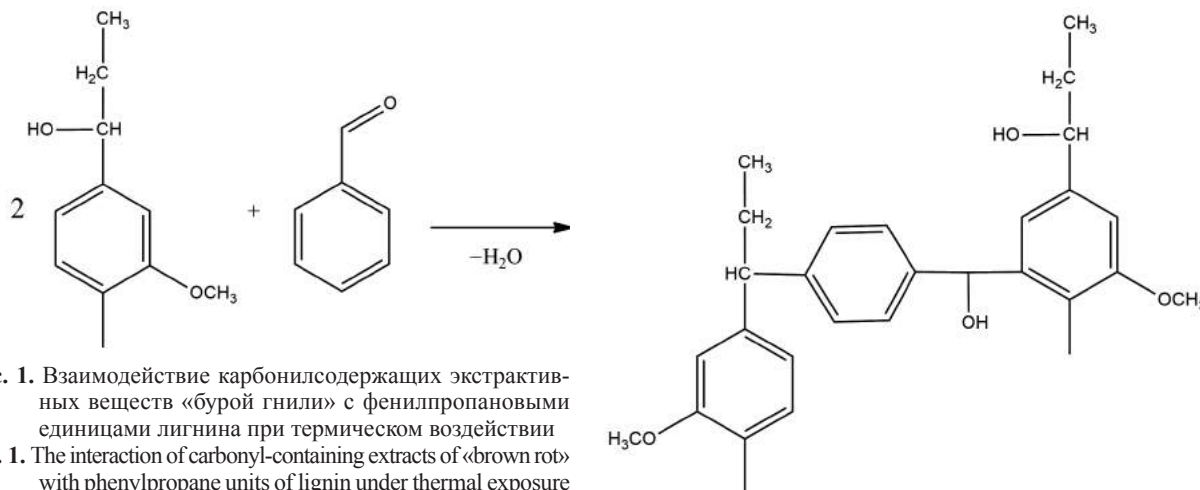


Рис. 1. Взаимодействие карбонилсодержащих экстрактивных веществ «бурой гнили» с фенолпропановыми единицами лигнина при термическом воздействии
Fig. 1. The interaction of carbonyl-containing extracts of «brown rot» with phenylpropane units of lignin under thermal exposure

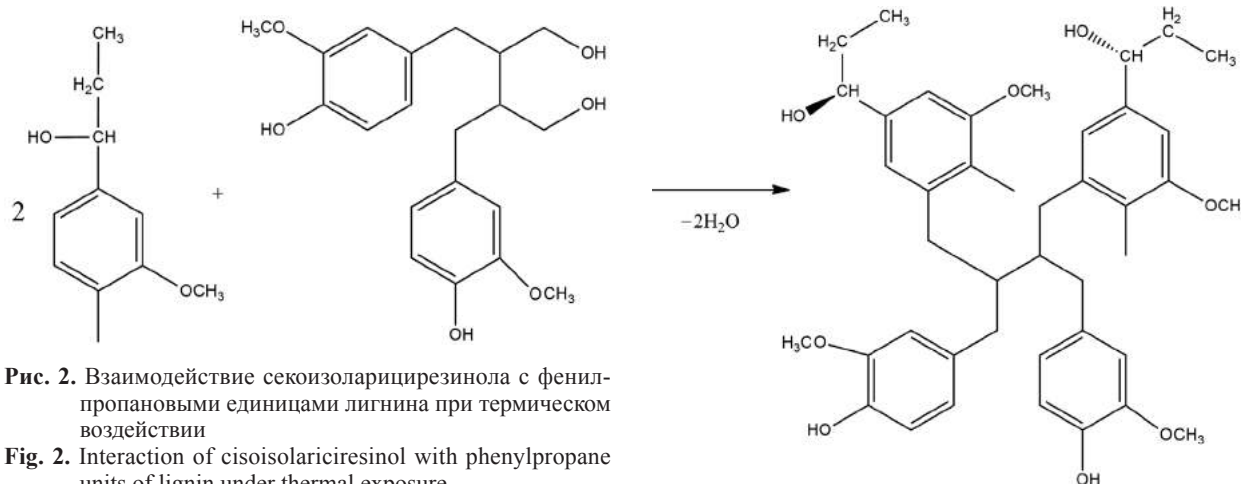


Рис. 2. Взаимодействие секоизоларицирезинола с фенолпропановыми единицами лигнина при термическом воздействии
Fig. 2. Interaction of cisoisolariiresinol with phenylpropane units of lignin under thermal exposure

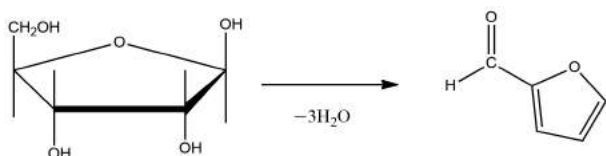


Рис. 3. Реакция дегидратации пентоз с образованием фурфурола
Fig. 3. Dehydration reaction of pentose to form furfural

экстрактивными веществами, с участием гидроксильных групп пропановых цепей и подвижных атомов водорода ароматических ядер (рис. 1).

Некоторые компоненты экстрактивных веществ, например секоизоларицирезинол, могут также выступать в роли сшивающих агентов при взаимодействии гидроксильных групп с подвижными атомами водорода ароматических колец фенолпропановых единиц (рис. 2).

Среди продуктов микологического разрушения лигноуглеводного комплекса присутствуют и продукты деструкции полисахаридов — пентозы и гексозы. При повышенных температурах моносахариды в результате реакций дегидратации могут образовывать ароматические альдегиды (рис. 3), также выступающие в качестве сшива-

ющих агентов (рис. 4). Реакции при этом могут протекать в свободных положениях ароматических ядер фенолпропановых единиц лигнина.

Кроме этого, большое содержание кислот (лауриновая, бутановая, уксусная), в том числе и многоосновных (фумаровая, малоновая, щавелевая), позволяет предположить процессы сложноэфирной конденсации с участием как алифатических, так и фенольных гидроксидов биолигнина (рис. 5).

Таким образом, микологически разрушенная древесина «бурой гнили» является терморективным высокорекционноспособным сырьем, в связи с чем нами была предпринята попытка использования «бурой гнили» в различных технологических процессах.

Цель работы

Целью работы является экспериментальное подтверждение возможности использования экстрактивных веществ микологически разрушенной древесины с «бурой гнилью» в качестве перспективного терморективного сырья в различных химико-технологических процессах, связанных с термическим воздействием.

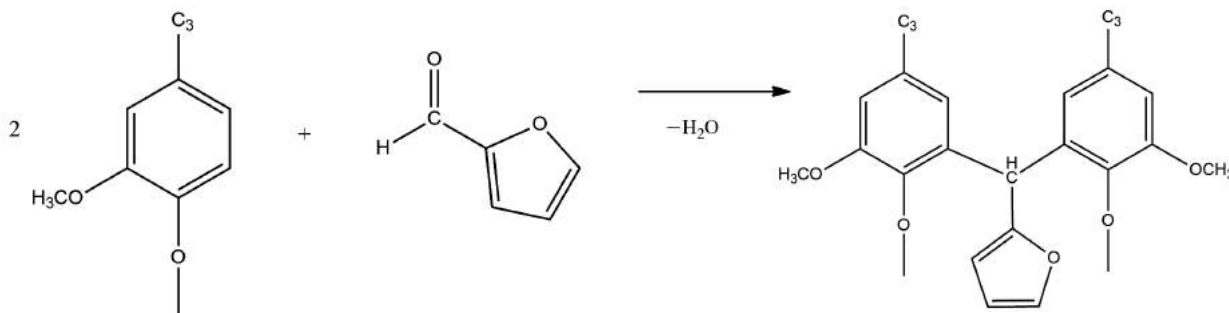


Рис. 4. Взаимодействие фурфурола с фенилпропановыми единицами лигнина при термическом воздействии

Fig. 4. Interaction of furfural with phenylpropane units of lignin under thermal exposure

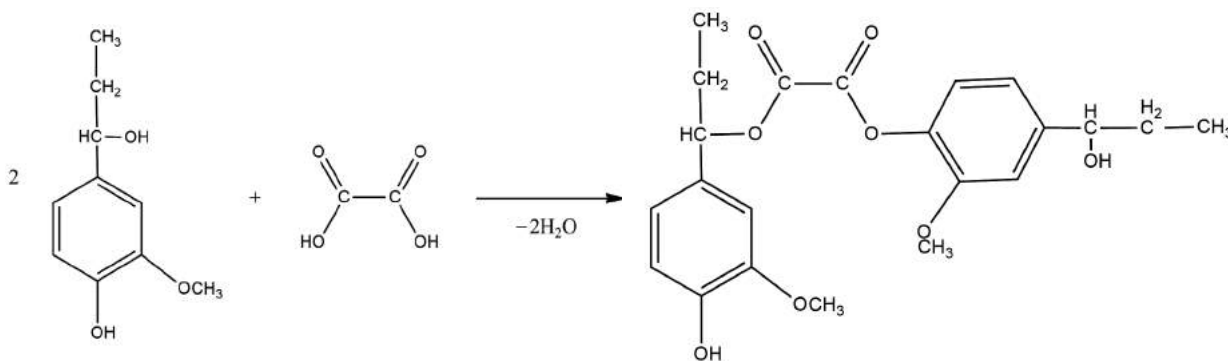


Рис. 5. Возможный путь образования сложноэфирных структур с участием карбоксилсодержащих экстрактивных веществ и «бурой гнили»

Fig. 5. Probable manner of complex ester structures formation involving carboxyl-containing extractives and «brown rot»

Материалы и методы

В качестве исходного сырья использовалась древесина ели с «бурой гнилью» III стадии разложения и древесина березы с «белой гнилью» II стадии разложения. Древесина предварительно высушивалась и измельчалась до порошкообразного состояния. Затем микологически разрушенная древесина использовалась для получения лигноуглеводных пластиков, гранулированного угля и поликонденсационных полимеров. Прессование композиции с «бурой» и «белой гнилью» высушенной до влажности 9 % проводили при давлении 40 МПа, температуре 150 °С и продолжительности прессования 20 мин [16]. После охлаждения образцы подвергали испытанию для определения предела прочности при изгибе и сжатии, водопоглощения при 20 °С за 24 часа и разбухания при 20 °С за 24 часа [17, 18]. Пиролиз смеси гидролизного лигнина с древесиной, пораженной «бурой гнилью», проводили со скоростью нагрева 10 °С/мин до температуры 450 °С с последующим выдерживанием при заданной температуре в течение 2 часов. Полученный уголь сырец охлаждали и подвергали испытанию на содержание нелетучего углерода по стандартным методикам [19, 20]. Для изучения возможности использования

экстрактивных веществ «бурой гнили» в качестве сырья для синтеза поликонденсационных полимеров микологически разрушенную древесину экстрагировали горячей водой, экстракт выпаривали досуха с последующим нагреванием, а образовавшийся твердый продукт обрабатывали исходным количеством горячей воды [16, 19].

Результаты и обсуждение

Согласно авторскому мнению, «бурую гниль» можно использовать для производства лигнопластов без применения синтетических связующих. Биолигнин при пьезотермическом воздействии будет вступать в реакции конденсации с экстрактивными веществами с образованием прочной сетчатой структуры. Основным недостатком лигноуглеводных пластиков на основе здоровой древесины является их низкая водостойкость [21]. При использовании же такого сырья как древесина с «бурой гнилью» можно получить гидрофобный материал с удовлетворительными механическими свойствами. Наилучшие результаты были получены при использовании в композиции при прессовании смеси «белой гнили», выполняющей роль волокнистой матрицы, и «бурой гнили», выполняющей функцию армирующего связующего, взятых в соотношении 54:46 (рис. 6, таблица).

Физико-механические характеристики композиционных материалов на основе микологически разрушенной древесины
Physic-mechanical characteristics of composite materials on the basis of mycologically destroyed wood

Содержание древесины пораженной, %		Предел прочности при изгибе, МПа	Предел прочности при сжатии, МПа	Водопоглощение при 20 °С за 24 часа, %	Разбухание при 20 °С за 24 часа, %
«белой гнилью» II стадии разложения	«бурой гнилью» III стадии разложения				
0	100	3,45	6,9	13,91	12,0
25	75	6,08	7,2	16,19	13,5
50	50	15,53	10,11	17,47	14,5
75	25	18,07	6,1	21,78	18,0
100	0	8,77	5,0	30,11	22,0
54	46	16,46	9,21	18,05	15,0



Рис. 6. Лигнопластик из пресс-массы с «бурой гнилью»
Fig. 6. Lignoplastic from a press-mass with «brown rot»

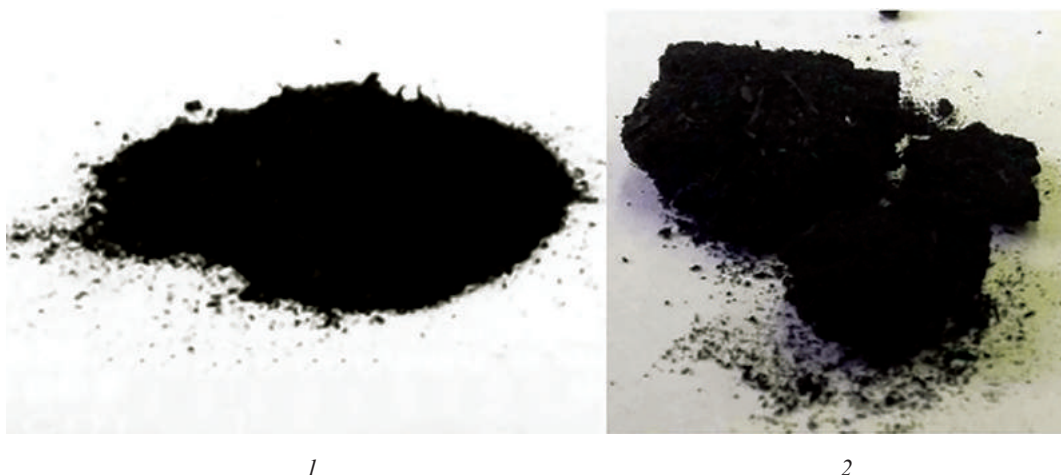


Рис. 7. Порошкообразный уголь-сырец из гидролизного лигнина (1) и структурированный с использованием 15 % «бурой гнили» (2)
Fig. 7. Powdered charcoal from hydrolytic lignin (1) and structured sample using 15 % «brown rot» (2)

Такая композиция, спрессованная при указанных рецептурах, дала достаточно водостойкий материал, не уступающий по прочностным показателям наиболее распространенным материалам из пресс-масс с использованием синтетических связующих.

Микологически разрушенную древесину с «бурой гнилью» можно также использовать в качестве термореактивного связующего при пиролизе гидролизного лигнина. Гидролизный лигнин обладает рядом ценных свойств, таких как большая удельная поверхность и высокое содержание углерода, что делает его перспективным сырьем в производстве углеродных сорбентов. Однако в виду того, что гидролизный лигнин представляет собой мелкодисперсный порошок, и при пиро-

лизе дает уголь-сырец практически полностью выгорающий при парогазовой активации, его необходимо структурировать. По способности структурироваться при нагревании угли подразделяются на способные спекаться и неспекающиеся. На способность спекаться оказывают влияние экстрактивные вещества, при удалении которых плохо или умеренно спекающиеся угли полностью теряют способность к структурированию, а у хорошо спекающихся наблюдается ухудшение способности к спеканию [22]. Микологически разрушенная древесина с «бурой гнилью», обогащенная низкомолекулярными экстрактивными веществами, может служить активным модификатором гидролизного лигнина в термических

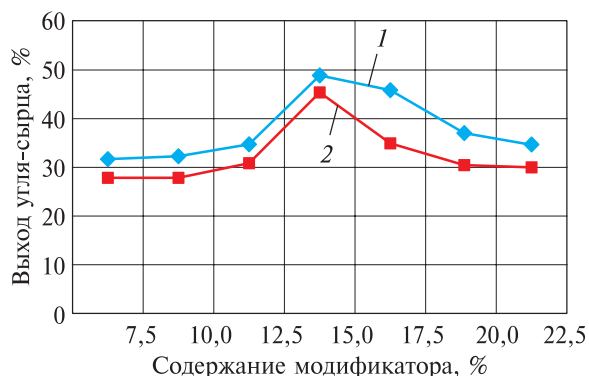


Рис. 8. Зависимость выхода угля-сырца из модифицированного гидролизного лигнина при температуре пиролиза 450 °С от содержания микологически разрушенной древесины в композиции: исходной (1) и проэкстрагированной (2)

Fig. 8. The dependence of the yield of raw coal from modified hydrolytic lignin at a pyrolysis temperature of 450 °C on the content of mycologically-degraded wood in the composition: pure (1) and extracted (2)

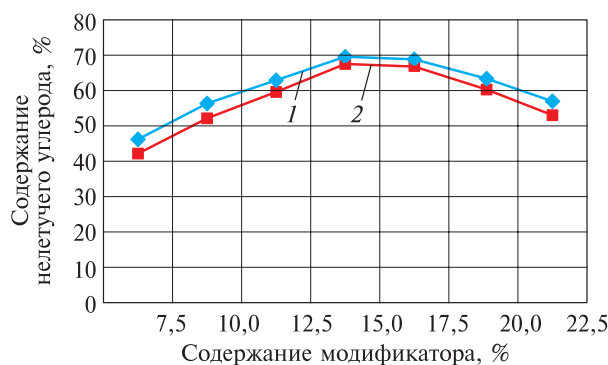


Рис. 9. Зависимость содержания нелетучего углерода в угле-сырце из модифицированного гидролизного лигнина при температуре пиролиза 450 °С от содержания микологически разрушенной древесины в композиции: исходной (1) и проэкстрагированной (2)

Fig. 9. Dependence of the non-volatile carbon content in raw coal from modified hydrolytic lignin at a pyrolysis temperature of 450 °C from the content of mycologically-degraded wood in the composition: pure (1) and extracted (2)



Рис. 10. Нерастворимые сконденсированные продукты экстракции древесины ели с «бурой гнилью»

Fig. 10. Insoluble condensed wood extraction products of spruce with «brown rot»

процессах обуглероживания, что в конечном итоге может приводить к гранулированию угля-сырца, а полученные гранулы можно будет использовать при активации угля-сырца с дальнейшим получением углеродных сорбентов. Наибольший количественный эффект от использования такого модификатора достигается при добавлении его в композицию с гидролизным лигнином в количестве 15 % и пиролизе при температуре 450 °С (рис. 7). При этом использование предварительно проэкстрагированной «бурой гнили», тем самым освобожденной от экстрактивных веществ, приводит к снижению выхода (рис. 8) и содержания нелетучего углерода (рис. 9) в угле-сырце. Это доказывает наше предположение о том, что именно низкомолекулярные компоненты «бурой гнили» являются структурирующими агентами

как для гидролизного лигнина, так и для самого биолигнина — продукта микелиза древесины при их совместном пиролизе.

Большое содержание водорастворимых экстрактивных веществ в «бурой гнили», общее количество которых может достигать 30 %, а при использовании в качестве экстрагента разбавленного раствора щелочи даже 50 %, говорит в пользу того, что древесину с «бурой гнилью» можно целенаправленно подвергать экстрагированию, а извлеченные низкомолекулярные вещества использовать в органическом синтезе. Ввиду большого разнообразия наиболее предпочтительным является групповое использование для синтеза поликонденсационных олигомеров. При термической обработке высушенных водных экстрактов удалось получить нерастворимый сконденсированный продукт, представленный на рис. 10. Кроме этого, снижение интенсивности окраски водного экстракта после термообработки и последующего растворения, а также повышением рН с 2,0 до 4,0 говорит о том, что экстрактивные вещества образуют фенопласты и полиэферы, нерастворимые в воде (рис. 11).

Возможны и другие области применения экстрактивных веществ «бурой гнили», например, в качестве заменителя танинов в технологии дубления кож, преобразования ржавчины и т. д.

Выводы

1. Микологически разрушенная древесина с «бурой гнилью» является сырьем, обогащенным низкомолекулярными соединениями ароматической природы, содержащими разнообразные реакционноспособные группы, что позволяет использовать ее как термореактивное сырье.

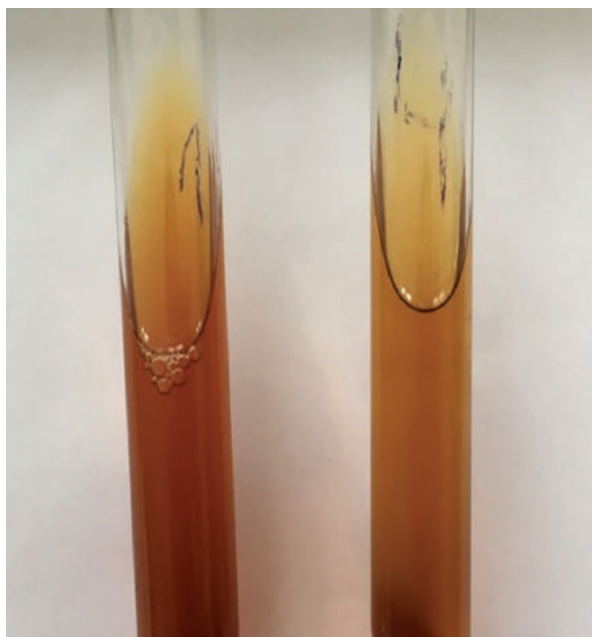


Рис. 11. Водные экстракты «бурой гнили» древесины ели до (1) и после термообработки и удаления образовавшихся нерастворимых продуктов (2) растворимой части

Fig. 11. Aqueous extracts of «brown rot» of spruce wood before (1) and after heat treatment and removal of the insoluble products formed (2) of the soluble part

2. Большое содержание экстрактивных веществ в «бурой гнили» позволяет использовать их как опосредованно, в составе микологически разрушенной древесины, так и непосредственно, при их извлечении экстракцией с последующей переработкой.

3. На данный момент изучена возможность использования древесины с «бурой гнилью» в качестве сырья для получения лигноуглеводных пластиков, гранулированного угля-сырца и поликонденсационных олигомеров.

Список литературы

[1] Пятакин В.И., Салминен Э.О., Бит Ю.А. Лесозексплуатация. М.: Академия, 2006. 320 с.
 [2] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. М.: МГУЛ, 2015. Т. II. 632 с.
 [3] Рипачек В. Биология дереворазрушающих грибов. М.: Лесная промышленность, 1967. 258 с.
 [4] Азаров В.И., Кононов Г.Н., Горячев Н.Л. Изучение компонентного состава микологически разрушенной древесины // Технология и оборудование для переработки древесины: научные труды. М.: МГУЛ, 2012. Вып. 358. С. 126–131.

[5] Стороженко В.Г. Научные основы устойчивости лесов к дереворазрушающим грибам. М.: Наука, 1992. 221 с.
 [6] Фенгел Д., Вегенер Г. Древесина (Химия, ультраструктура, реакции). М.: Лесная промышленность, 1988. 512 с.
 [7] Шиврина А.Н. Биологически активные вещества высших грибов. М.: Наука, 1965. 202 с.
 [8] Ганбаров Х.Г. Эколого-физиологические особенности дереворазрушающих высших базидальных грибов. Баку: ЭЛМ, 1989. 197 с.
 [9] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafii M.Y., Saud H.M., Idris A.S. Investigating the effect of white-rot hymenomycetes biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization // Industrial Crops and Products, 2017, v. 108, pp. 872–882.
 [10] Falcon M.A., Rodríguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De la Fuente G. Isolation of microorganisms with lignin transformation potential from soil of Tenerife island // Soil Biology and Biochemistry, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
 [11] Екабсоне М.Я. Исследование энзиматически разрушенной древесины // Химия древесины, 1978. № 2. С. 61–64.
 [12] Иванкин А.Н., Фадеев Г.Н., Болдырев В.С., Прошина О.П., Куликовский А.В., Семенова А.А., Насонова В.В. Вкусоароматические компоненты рецептур, формируемые в присутствии бактериальных культур // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология, 2017. Т. 7. № 2. С. 124–136.
 [13] Иванкин А.Н., Красноштанова А.А. Гидролиз нанобиомолекулярных систем. М.: МГУЛ, 2010. 394 с.
 [14] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskii A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of unsaturated fatty acids with a migrating double bond in complex biological matrices by gas chromatography with flame ionization and mass spectrometry detection // Journal of Analytical Chemistry, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137.
 [15] Рабинович М.Л., Болобова В.И., Кондращенко В.И. Теоретические основы биотехнологии древесных композитов. Кн. I: Древесина и разрушающие ее грибы. М.: Наука, 2001. 264 с.
 [16] Григорьев А.П., Федотова О.Я. Лабораторный практикум по технологии пластических масс. Ч. 2: Поликонденсационные и химически модифицированные пластические массы. М.: Высшая школа, 1977. 264 с.
 [17] ГОСТ 19592–80. Плиты древесноволокнистые. Методы испытаний. М.: Госстандарт, 1980. 11 с.
 [18] ГОСТ 16483.10–73. Древесина. Методы определения предела прочности при сжатии вдоль волокон. М.: ИПК Издательство стандартов, 1999. 6 с.
 [19] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. Лабораторный практикум. М.: МГУЛ, 2005. 138 с.
 [20] Богданович Н.И., Кутакова Н.А., Селянина С.Б. Лабораторный практикум по технологии биологически активных веществ и углеродных сорбентов: в 2 ч. Ч. 1: Анализ углей и продуктов пиролиза древесины. Архангельск: САФУ, 2013. 84 с.
 [21] Мельникова Л.В. Технология композиционных материалов из древесины. М.: МГУЛ, 2007. 235 с.
 [22] Русьянова Н.Д. Углекислотная химия. М.: Наука, 2003. 312 с.

Сведения об авторах

Кононов Георгий Николаевич — канд. техн. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции химии и химической технологии древесины РХО им. Д.И. Менделеева, kononov@mgul.ac.ru

Веревкин Алексей Николаевич — канд. хим. наук, доцент кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), verevkin@mgul.ac.ru

Сердюкова Юлия Владимировна — старший преподаватель кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-htdip@mgul.ac.ru

Зайцев Владислав Дмитриевич — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kelertak@bk.ru

Горячев Никита Леонидович — канд. хим. наук, руководитель испытательного центра целлюлозно-бумажной продукции «ЦКАЛ» ОАО «Центральный научно-исследовательский институт бумаги», Goryachev_nl@mai.ru

Воликова Анастасия Сергеевна — магистрант, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), nastja-volikova@rambler.ru

Поступила в редакцию 25.10.2018.

Принята к публикации 30.11.2018.

EXTRACTIVE SUBSTANCES BEHAVIOR OF «BROWN ROT» UNDER THERMAL EXPOSURE AND POSSIBLE WAYS OF THEIR USE

G.N. Kononov¹, A.N. Verevkin¹, Yu.V. Serdyukova¹,
V.D. Zaitsev¹, N.L. Goryachev², A.S. Volikova¹

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

²PLC «Central Research Institute of Paper», 15/1, Lenina st., 141260, pos. Pravdinsky, Moscow Region, Russia

kononov@mgul.ac.ru

Wood is a unique natural material that has wide application in many branches of the economy. However, a large amount of harvested wood is transferred to a low-quality category due to the presence of so-called «rot». Wood with «brown rot» has no practical application and is a technological waste. However, in our opinion, mycologically degraded wood with «brown rot» can be used as a promising thermoset raw material for the production of various kinds of products and materials. The article provides a theoretical basis for the “brown rot” extractive substances usage in various chemical-technological processes associated with the use of raised temperatures. Theoretically possible chemical reactions occurring between extractive substances and lignin-containing products during thermal exposure are given. The authors conducted studies carry out an investigation on the usage of mycologically-degraded wood for the production of ligno-carbohydrate plastics, granular coal based on hydrolytic lignin and polycondensation polymers. The best results for the preparation of ligno-carbohydrate plastics are achieved using a mixture of «white rot», which serves as a fibrous matrix, and «brown rot», which serves as a reinforcing binder, in a ratio of 54:46. It was also found that the greatest quantitative effect in the production of raw coal is achieved by the pyrolysis of the composition containing 15 % of mycologically destroyed wood and 85 % of hydrolytic lignin, and the use of pre-extracted mycologically-degraded wood leads to a regular decrease in the yield and content of non-volatile carbon in it. A high content of low-molecular extractive substances makes it possible to extract «brown rot» purposefully and use the obtained low-molecular-weight substances directly for organic synthesis. It has been found that by evaporation and heat treatment of «brown rot» extractive substances it is possible to obtain water insoluble phenolics and polyesters insoluble in water.

Keywords: mycologically destroyed wood, ligno-carbohydrate plastics, granulated coal, phenolic plastic

Suggested citation: Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V., Zaitsev V.D., Goryachev N.L., Volikova A.S. *Povedenie ekstraktivnykh veshchestv «buroy gnili» pri termicheskikh vozdeystviyakh i vozmozhnye puti ikh ispol'zovaniya* [Extractive substances behavior of «brown rot» under thermal exposure and possible ways of their use]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 102–109. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-102-109

References

- [1] Patyakin V.I., Salminen E.O., Bit Yu.A. *Lesoekspluatatsiya* [Forest exploitation]. Moscow: Academy, 2006, 320 p.
- [2] Kononov G.N. *Dendrokhiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney i organov drevesnykh rasteniy. V. 2.* [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, tissues and organs of woody plants. In 2 v. V. 2]. Moscow: MSFU, 2015, v. 2, 626 p.
- [3] Рупацек В. *Биология деструктивных грибов* [Biology of wood-destroying fungi]. Moscow: Forest industry, 1967, 258 p.

- [4] Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L. *Izuchenie komponentnogo sostava mikologicheskoi razrushennoy drevesiny* [Studying of component structure mycologically the destroyed wood]. *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: nauchnye trudy* [Technology and the equipment for wood processing: Collected papers]. Moscow: MGUL, 2012, v. 358, pp. 126–131.
- [5] Storozhenko V.G. *Nauchnye osnovy ustoychivosti lesov k derevorazrushayushhim gribam* [The scientific foundations of forest sustainability to wood-destroying fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1992, 221 p.
- [6] Fengel D., Vegener G. *Drevesina (Khimiya, ul'trastruktura, reaksii)* [Wood (Chemistry, ultra-structure, reactions)]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1988, 512 p.
- [7] Shivrina A.N. *Biologicheski aktivnye veshchestva vysshix gribov* [Biologically active substances of higher fungi]. Moscow: Nauka [Science], 1965, 202 p.
- [8] Ganbarov H. G. *Ekologo-fiziologicheskie osobennosti derevorazrushayushhix vysshix bazidalnykh gribov*. [Ekologo-physiological features of higher basically wood-destroying fungi]. Baku: ELM, 1989, 197 p.
- [9] Naidu Y., Siddiqui Y., Rafii M.Y., Saud H.M., Idris A.S. Investigating the effect of white-rot hymenomyces biodegradation on basal stem rot infected oil palm wood blocks: Biochemical and anatomical characterization. *Industrial Crops and Products*, 2017, v. 108, pp. 872–882.
- [10] Falcon A. M., Rodriguez A., Carnicero A., Regalado V., Perestelo F., Milstein O., De La Fuente G. Isolation of microorganisms with potential for the transformation of lignin from the soil of the island of Tenerife. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, v. 27 (2), pp. 121–126.
- [11] Ekabsone M.Ya. *Issledovanie ehzymaticheskoi razrushennoy drevesiny* [Investigation of enzymatically degraded wood]. *Wood Chemistry*, 1978, no. 2, pp. 61–64.
- [12] Ivankin A.N., Fadeev G.N., Boldyrev V.S., Proshina O.P., Kulikovskiy V., Semenova A.A., Nasonova V.V. *Vkus-aromaticheskie komponenty rezeptur, formiruemye v prisutstvii bakterial'nykh kul'tur* [Food flavouring ingredients of food recipes developed in the presence of bacterial culture]. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*, 2017, v. 7, no. 3, pp. 124–136
- [13] Ivankin A.N., Krasnoshtanova A.A. *Gidroliz nanobiomakromolekulyarnykh sistem* [Hydrolysis of nanobiocomacromolecular systems]. Moscow: MSFU, 2010, 394 p.
- [14] Ivankin A.N., Oliferenko G.L., Kulikovskiy A.V., Chernuha I.M., Semenova A.A., Spiridonov K.I., Nasonova V.V. Determination of unsaturated fatty acids with a migrating double bond in complex biological matrices by gas chromatography with flame ionization and mass spectrometry detection. *Journal of Analytical Chemistry*, 2016, v. 71, no. 11, pp. 1131–1137.
- [15] Rabinovich M.L., Bolobova A.V., Kondrashchenko V.I. *Teoreticheskie osnovy bio-tehnologii drevesnykh kompozitov. Kniga I. Drevesina i razrushayushchie griby* [Theoretical bases of biotechnology of wood composites. Book I. Wood and the fungi destroying it]. Moscow: Nauka, 2001, 264 p.
- [16] Grigor'ev A.P., Fedotova O.YA. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii plasticheskikh mass. CHast' 2. Polikondensatsionnye i himicheski modifitsirovannye plasticheskie massy* [Laboratory workshop of the technology of plastics. P. 2. Polycondensation and chemically modified plastics]. Moscow: High School, 1977, 264 p.
- [17] GOST 19592–80. Fibreboard plates. Test methods. Moscow: Gosstandart, 1980. 11 p.
- [18] GOST 16483.10–73. Wood. Methods for determining the compressive strength along the fibers. Moscow: IPK Izdatel'stvo standartov [IPK Publishing house of standards], 1999, 6 p.
- [19] Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Kononov G.N. *Praktikum po khimii drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Workshop on chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MSFU, 2006, 248 p.
- [20] Bogdanovich N.I., Kutakova N.A., Selyanina S.B. *Laboratornyy praktikum potekhnologii biologicheskii aktivnykh veshchestv i uglerodnykh adsorbentov: v 2 ch. Ch. 1. Analizugley i produktov pirolizadrevsiny* [Laboratory workshop on technology biologically the active materials and carbon adsorbents: in 2 parts. Part. 1. Analysis of coals and pyrolyzed species of wood]. Arkhangel'sk: Northern (Arctic) federal university of M.V. Lomonosov, 2013, 84 p.
- [21] Mel'nikova L.V. *Tekhnologiya kompozitsionnykh materialov iz drevesiny* [Technology of composite materials from wood]. Moscow: MSFU, 2007, 235 p.
- [22] Rus'yanova N.D. *Uglekhiymiya* [Carbon chemistry]. Moscow: Science, 2007, 312 p.

Authors' information

Kononov Georgiy Nikolaevich — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding Member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific Secretary of Section Chemistry and Engineering Chemistry of Wood Mendeleev Russian Chemical Society, kononov@mgul.ac.ru

Verevkin Alexey Nikolaevich — Cand. Sci. (Chemical), Associate Professor of BMSTU (Mytishchi branch), verevkin@mgul.ac.ru

Serdyukova Yulia Vladimirovna — Senior Lecturer of BMSTU (Mytishchi branch), caf-htdip@mgul.ac.ru

Zaytsev Vladislav Dmitrievich — Master graduand of BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Goryachev Nikita Leonidovich — Cand. Sci. (Tech.), head of the testing center of pulp and paper products «TsKAL», PLC «Central Research Institute of Paper», Goryachev_nl@mai.ru

Volikova Anastasia Sergeevna — graduate student MSTU of N.E. Bauman, nastja-volikova@rambler.ru

Received 25.10.2018.

Accepted for publication 30.11.2018.

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИССЛЕДОВАНИЙ «ЛЕСНОЙ ПРОДУКЦИИ»

В.С. Шалаев¹, С.Н. Рыкунин¹, В.И. Мелехов²

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

²Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова (САФУ), 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, д. 17

shalaev@mgtu.ac.ru

Широко известен Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), объединяющий ученых мирового научного лесного сообщества. В состав этой организации входит более 15 тысяч ученых из более чем 600 организаций 126 стран мира. Деятельность Союза отражает весь спектр «лесных» исследований мира, в том числе «лесной продукции». В настоящее время в рамках ИЮФРО действует принятая на XXIV Всемирном конгрессе в Солт-Лейк-Сити в 2014 г. Стратегия Международного союза лесных исследовательских организаций на 2015–2019 гг. Стратегия подчеркивает, в том числе, значимость выделенных направлений исследований «лесной продукции» и в наиболее общем виде определяет динамику их развития. Причем Стратегия включает в себя цель стремиться к совершенствованию исследований путем создания механизма прогнозирования. На конференции 5-го отделения ИЮФРО в Ванкувере в июне 2017 г. достаточно подробно и акцентированно рассматривались вопросы прогнозирования. На фоне прогнозной оценки будущего общества и соответствующих проблем были спрогнозированы конкретные предметные области развития науки, технологий и образования. В нашей стране научно-исследовательской работой занимаются в настоящее время в основном организации и учреждения отраслевого, вузовского и академического сектора. При этом объемы исследований в интересах лесного комплекса находятся на весьма низком уровне, существенно ниже среднего зарубежного уровня. Можно предположить, что в интересах «лесной продукции» этот показатель еще ниже. Выполняемые работы соответствуют мировым тенденциям развития, однако практически полностью отсутствует должная координация и необходимая направленность исследований, вопросы прогнозирования в этом случае не востребованы и не рассматриваются должным образом. Среди выводов: совокупность «лесных» исследований мира, в том числе «лесной продукции», может служить объективной основой для оценки существующего состояния; направленность исследований мирового сообщества, прогнозные оценки имеют содержательное и важное значение, должны анализироваться и учитываться при планировании и выполнении отечественных «лесных» исследований; в условиях нашей страны необходимо существенное увеличение объемов «лесных» исследований, определенная координация выполняемых исследований, прогнозирование их направленности; при планировании в вузах следует усилить финансирование проведения экспериментальных работ, необходимых для обеспечения НИР.

Ключевые слова: Международный союз лесных исследовательских организаций, «лесная продукция», прогнозирование, исследования

Ссылка для цитирования: Шалаев В.С., Рыкунин С.Н., Мелехов В.И. Прогнозирование исследований «лесной продукции» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 110–117.
DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-110-117

Широко известен Международный союз лесных исследовательских организаций (ИЮФРО), объединяющий ученых мирового научного лесного сообщества. В состав этой организации со 125-летним опытом работы входит в настоящее время более 15 тысяч ученых из более чем 600 организаций 126 стран мира [1, 2]. Деятельность Союза отражает весь спектр «лесных» исследований мира. Традиционно структура ИЮФРО включает 9 отделений: 1. Лесоводство. 2. Физиология и генетика. 3. Проектирование и управление лесными технологиями и операциями. 4. Лесная инвентаризация, моделирование и управление. 5. Лесная продукция. 6. Социальные аспекты лесов и лесного хозяйства. 7. Состояние лесов. 8. Лесная экология. 9. Лесная экономика и политика [1, 2].

При этом необходимо остановиться на терминологической стороне названия 5-го отделения «Лесная продукция» (Forest Products), одного из девяти

структурных подразделений ИЮФРО [3, 4]. В настоящее время в рамках 5-го отделения ИЮФРО сформировались рабочие и специальные исследовательские группы, спектр деятельности которых отражает совокупность научных исследований ученых мирового сообщества, работающих по рассматриваемой тематике. Итак, это:

- качество древесины и волокна (моделирование качества древесины; анализ годовых колец; исследование изменчивости древесины; неразрушающая оценка древесины и материалов на основе древесины; фундаментальные свойства древесины и материалов на основе древесины);

- защита древесины (биологическое сопротивление древесины; защита древесины в карантинных целях, пищевой упаковки и торговли; защита древесины в условиях тропиков; защита культурных артефактов; защита используемых природных продуктов);

- обработка древесины (сушка древесины; клеи и склеивание; пиление и машинная обработка; промышленный инжиниринг, операционный анализ и логистика);

- композитная и восстановленная продукция;

- свойства и использование плантационной древесины (использование древесины плантационного тика; использование древесины плантационного эвкалипта);

- биопереработка (целлюлоза и бумага; небольшие традиционные энергосистемы);

- маркетинг и управление бизнесом при производстве «лесной продукции»;

- недревесные лесные продукты (медицинские лесные продукты; съедобные лесные продукты; бамбук и ротанг; промышленные экстракты);

- устойчивое использование «лесной продукции» (анализ жизненного цикла «лесной продукции»; сертифицированные лесные товары и услуги);

- культура «лесной продукции».

Очевидно, что в отделении «Лесная продукция» рассматриваются не только изделия из древесины (пиломатериалы, щепа, мебель и др.), но и недревесные, медицинские, съедобные лесные продукты. Соответственно и понятие «лесная продукция» носит достаточно широкий смысл. Очевидно, в этом есть свой резон. При все большей отстраненности государства от финансирования «лесной» науки (не только в нашей стране) следует усиливать понимание предмета, преодолевать недомыслие этого термина, добиваться должного понимания значимости этого возобновимого ресурса. Ведь не только утилитарную продукцию, но в определенной степени и чистую воду, воздух, лесную фауну и флору тоже можно отнести к области «лесной продукции».

В настоящее время в рамках ИЮФРО действует принятая на XXIV Всемирном конгрессе в Солт-Лейк-Сити в 2014 г. Стратегия Международного союза лесных исследовательских организаций на 2015–2019 гг. При этом рассмотренная и утвержденная Стратегия ИЮФРО «Поддержание лесов, поддержание людей: Роль исследований» на 2015–2019 гг. определяет пять укрупненных направлений и три институциональные цели развития [2–4]. Три институциональные цели, адаптированные к предыдущей Стратегии, обеспечивают развитие исследований и междисциплинарное сотрудничество при выработке научно-обоснованных решений и вариантов воздействия на политические процессы.

Необходимо отметить пять тематических направлений:

1. Леса для людей.

2. Леса и изменения климата.

3. Леса и «лесная продукция» для «зеленого» будущего.

4. Биоразнообразие, экосистемные услуги и биоинвазия.

5. Взаимодействие лесов, почвы и воды.

Цель работы

Цель работы — рассмотреть третье тематическое направление *Леса и «лесная продукция» для «зеленого» будущего*.

Материалы и методы

Данный раздел Стратегии состоит из трех частей.

Состояние проблемы. Одна треть земной суши покрыта лесами. Наши леса и возобновляемая продукция, которую они производят, будут играть решающую роль в будущем благополучии населения мира. Более четверти населения Земли зависит от лесов, как средств к существованию. Большая часть мировой древесной биомассы потребляется населением как основное сырье для приготовления пищи и отопления. Тем не менее леса должны также обеспечивать пресной водой, чистым воздухом, биоразнообразием, хранением углерода и многими другими экосистемными услугами. Следовательно, спрос на «лесную продукцию» и обеспечиваемые лесами экосистемные услуги будет расти в соответствии с увеличением населения.

Обоснование. Важнейшая роль лесов в благополучии населения Земли достаточно определена. Вместе с тем перспективы удовлетворения будущих потребностей еще недостаточно ясны и изучены. Мы знаем, что леса могут играть все более важную роль в устойчивости мировой экономики на региональном и местном уровнях, в благосостоянии людей при формирующейся на биологической основе экономике. Однако обеспечение возрастающих требований для удовлетворения индивидуальных потребностей без ущерба возможностям лесов является серьезной междисциплинарной задачей, стоящей перед лесным научно-исследовательским сообществом.

Акценты направленности. 1. Открытие новых лесных продуктов и услуг — биоэнергии, биоматериалов, недревесных продуктов, совершенствования окружающей среды и благосостояния человека. Разработка новых продуктов из лесного сырья в последние годы ориентирована в значительной степени на биотопливо и биоэнергетику. Вместе с тем, другие виды продукции также не менее значимы, например, новые способы использования древесины в строительстве, древесно-стружечные биоматериалы, включая биохимические вещества, биопластик и пищевые добавки. Кроме того, все большее признание получают разнообразные услуги леса, обеспечивающие окружающую среду и благополучие человека. Эти новые лесные продукты и услуги должны быть исследованы и оценены по их вкладу в будущее.

2. Оптимальное использование лесного сырья. Важно максимально использовать экономические, социальные и экологические преимущества использования «лесной продукции» при обеспечении устойчивости развития и ее вклада в «зеленое» будущее. Обеспечивает ли «лесная продукция» действительно более устойчивое развитие, чем другая конкурирующая продукция (например, бетон, сталь, конопля, хлопок), особенно при целостном подходе и оценке воздействия на окружающую среду?

3. Вклад лесов и их экосистемных услуг в традиционный ВВП и «зеленую / на биооснове» экономику. Леса и предоставляемые ими услуги, являются неоднократно и последовательно недооценены. В результате, среди прочего, мы имеем процессы обезлесения и деградации лесов. Учитывая, что в ближайшее время не прогнозируется изменения экономической системы в мире, сможем ли мы в соответствии с текущей ситуацией разработать системы оценки, которые подтвердят истинную ценность лесов, особенно в сопоставлении с конкурирующей продукцией?

Этими положениями одобренная Международным лесным сообществом Стратегия на 2015–2019 гг. подчеркивает значимость рассматриваемых направлений исследований «лесной продукции» и в наиболее общем виде определяет динамику их развития. Причем Стратегия включает в себя цель стремиться к совершенствованию исследований путем создания механизма прогнозирования.

Анализ-оценка направленности исследований «лесной продукции»

Анализ и оценка направленности исследований в ИЮФРО традиционно проводились как в целом [3–9], так и в рамках 5-го отделения [3, 4, 10, 11].

Исторически лесная наука складывалась в большей степени как лесохозяйственная, хотя уже на III съезде ИЮФРО в 1900 г. рассматривался вопрос об участии в исследованиях технических характеристик древесины. В России профессор Г.Ф. Морозов в статье «О соотношении наук, преподаваемых Лесным институтом» от 1919 г. поставил вопрос о выделении из энциклопедического курса «Лесная технология» фундаментальных сведений — «Учения о древесине» и прикладных — «Технология дерева». Понимание необходимости рассмотрения и исследований «лесной продукции» приводит к непрерывному развитию этого направления, и уже на X съезде в 1948 г. на пленарном заседании заслушивается доклад и проведено обсуждение «Современного состояния и перспективы деревянных конструкций в области гражданского строительства».

Далее, по мере развития направления, в структуре ИЮФРО возникают секции «Изучение физико-химических и технических характеристик и использование лесной продукции», «Свойства «лесной продукции», «Лесные товары». В современном виде 5-е отделение «Лесная продукция» в составе четырех тематических групп («Качество древесины»; «Переработка древесины»; «Защита древесины»; «Обработка древесины») возникло только на XVI съезде ИЮФРО в 1976 г., в настоящее же время, как указывалось ранее, оно функционирует в значительно более широком составе [3, 4, 8–11].

При этом направленность исследований 5-го отделения и их прогнозирование постоянно находились в поле зрения руководства ИЮФРО. В 1986 г. на XVIII Всемирном конгрессе ИЮФРО в Югославии профессор Вальтер Лизе/Walter Liese (Президент ИЮФРО, 1977–1981 гг.) выступил с докладом «Будущие исследования «лесной продукции», в котором дал им достаточно подробную оценку [12]. В 2000 г. на XXI Всемирном конгрессе ИЮФРО в Малайзии профессор Роберт Л. Янгс/Robert L. Youngs и Джон А. Янгквист/John A. Youngquist (руководители 5-го отделения ИЮФРО) представили доклад «Исследования «лесной продукции» в ИЮФРО: история и будущее для потребностей общества» с оценкой направлений исследований в мире [13]. Сопоставление предшествующих прогнозов и сложившаяся в настоящее время совокупность направлений исследований рабочих и специальных исследовательских групп 5-го отделения ИЮФРО показывают достаточно их соответствие в содержательной части. Хотя необходимо подчеркнуть определенное развитие, расширение границ этого отделения и некий социально-экологический тренд, что, впрочем, вполне отвечает общей коррекции направленности лесных исследований в мире. Программа же и работа XXIV Всемирного конгресса ИЮФРО в США в 2014 г. усиливает направленность исследований «Лесной продукции» в первую очередь в интересах «зеленого» будущего [14–16].

На регулярно проводимой конференции 5-го отделения ИЮФРО (Ванкувер, Канада) в июне 2017 г. достаточно подробно и акцентированно учеными-экспертами из 18 стран рассматривались вопросы прогнозирования (по данным Отчета «Report from the IUFRO Division 5 Forest Products Foresight Meeting at the 2017 Division 5 Conference in Vancouver Canada»).

В первую очередь была проведена прогнозная оценка нашего будущего общества, как оно будет выглядеть для обычного человека, живущего повседневной жизнью.

Прогнозируется, что в будущем будет низкий уровень выбросов углерода, люди будут жить в чистой и здоровой окружающей среде. Будущие общества будут цифровыми обществами. Люди в большей степени будут связаны друг с другом, в том числе кросс-географически, с помощью электронных средств, будут получать доступ к информации в цифровом виде, совершать покупки в Интернете, традиционные форматы встреч «лицом к лицу» будут не столь актуальны, а компании, их деятельность, окажутся частью международных цепочек поставок.

В глобальном масштабе будет наблюдаться значительная миграция населения с юга на север, причем большая часть популяции будет расти за счет менее развитых стран. Люди будут сосредоточены в мегаполисах, образуя мегацентры. Развитие будет варьироваться от страны к стране. В высокоразвитых странах увеличится стареющее население, и напряженность по социальным и экологическим вопросам возрастет. В будущем развивающиеся страны и наименее развитые страны будут иметь более высокий процент более молодого населения.

В то время как развивающиеся страны будут размышлять о будущем своих существующих лесных товаров, менее развитые страны будут продолжать наращивать объем потребления лесных товаров и обмен информацией друг с другом и с развитыми странами.

В будущем лесные операции будут полностью автоматизированы, оперативные решения будут приниматься на основе сбора данных в реальном масштабе времени через сеть датчиков. Лесозаготовительное оборудование будет эксплуатироваться в режиме удаленного доступа, а бревна будут доставляться на лесопильные заводы автопарком самоходных грузовиков. Множество секторов общества будет опираться на качественную воду из леса. При этом леса в качестве поглотителя углерода будут более востребованы, чем в качестве древесного сырья для промышленной продукции.

Поскольку общество будет в большей степени опираться на леса, многим секторам придется работать совместно для принятия разумных решений в отношении использования таких ресурсов, как древесина и вода, а не конкурировать друг с другом за лесные ресурсы. Увеличение спроса широкого круга интересов станет поводом для сохранения лесов для удовлетворения широкого спектра разнообразных потребностей нашего общества. Все чаще новые технологии будут играть важную роль в производстве «лесной продукции». Хотя объемы многих текущих продуктов продолжают расти, будут доступны огромные возможности для

изделий из полимеров и химических веществ на основе древесины. Древесина будет все в большей мере входить в состав продукции с более высокой стоимостью. Лесные продукты будут иметь расширенный жизненный цикл, более того, возможно, им придется конкурировать со стоящими деревьями как средством декарбонизации нашего общества.

Вместе с тем, возникнут новые проблемы будущего общества: с ростом населения, миграцией с юга на север, концентрацией населения в мегацентрах будет развиваться конкуренция за ресурсы. Леса должны будут управляться в интересах широкого спектра потребностей, включая древесину как «лесную продукцию», с признанием других экосистемных качеств и услуг. При увеличении популяции населения и повышенных требованиях леса будут подвергаться изменениям из-за экологических напряжений.

Наше будущее общество будет отличаться от сегодняшнего. Необходимо будет определить, какие продукты должны потреблять граждане в будущем обществе и количество этих продуктов. Проблемы с использованием лесных и промышленных отходов останутся. Чтобы удовлетворить растущее население, необходимо будет улучшить качество древесины деревьев с малым диаметром, ускорить выращивание деревьев, улучшить защиту почвы и обеспечить устойчивость лесов в интересах нынешнего и будущих поколений.

С целью обеспечения образования для всех социальных классов может потребоваться скоординированный подход к созданию потенциала для просвещения в некоторых регионах. В целях максимального увеличения вклада лесов и сохранения лесных ресурсов образованность общественности по экологическим, социальным и экономическим полезностям лесов будет оставаться не на должном уровне.

Поскольку разные страны будут находиться на разных ступенях развития, возникающие вопросы необходимо учитывать в контексте каждой страны или региона.

Результаты и обсуждение

В целом было выражено общее мнение, что наука, технологии и образование имеют глобальную перспективу, и естественно они должны отвечать будущему стилю жизни. Ученым необходимо осознать тенденции к будущему обществу и позиционировать науку, технологии и образование как средство для этого. Наука, технологии и образование должны быть новаторскими, охватывать новые направления, которые помогут осознать совокупность лесных товаров во всеохватывающей биоэкономике в будущем.

Учитывая мультидисциплинарность и прикладной характер лесных товаров, образование в рассматриваемой области должно быть междисциплинарным. При обучении студентов педагоги должны применять комплексный подход, сочетающий в себе различные навыки. Лесному сообществу в рассматриваемой области необходимо будет привлекать молодых людей, лучших студентов к лесной науке и технологиям. Необходимо постоянно информировать общественность о пользе древесины, работать с преподавателями, чтобы включить лесную составляющую в образование на первоначальной стадии обучения. Преподавателям следует шире участвовать в экспедициях по другим дисциплинам.

Были спрогнозированы конкретные предметные области развития науки, технологий и образования:

- расширение автоматизации производственно-технологических процессов;
- использование результатов исследований «лесной продукции» на молекулярном уровне;
- разработка новых видов, форм и способов использования древесины;
- оценка жизненного цикла продукции на основе древесины;
- связь технологий деревообработки с программами промышленной сертификации, архитектурой и инженерным делом;
- конверсия производства целлюлозы и бумаги;
- развитие безотходных систем и технологий;
- расширение объемов и форм использования доступных ресурсов древесины для связывания углерода;
- изменение конструкций и дизайна в домостроении для продления сроков существования домов;
- разработка новых международных правил строительства;
- расширение использования в производстве мебели различных материалов на основе древесины;
- расширение использования инновационных волоконно-ориентированных продуктов;
- развитие недревесной продукции: продуктов питания, грибов, насекомых и т. д.;
- развитие использования объемов древесины;
- развитие деревообрабатывающей промышленности;
- использование нанобиотехнологий;
- достоверная оценка количества биомассы на земле;
- совершенствование базы данных для обмена информацией о длительности ротации на основе генетического улучшения;
- нахождение баланса между традиционными направлениями и новыми продуктами.

В нашей стране научно-исследовательской работой (НИР) занимаются в настоящее время организации и учреждения отраслевого, вузовского и академического сектора. В последние годы к ним можно отнести и некоторые организации негосударственного сектора. При этом объемы исследований в интересах лесного комплекса находится на весьма низком уровне: расходы на НИОКР составляют около 0,01 % от ВВП отрасли, что существенно ниже среднего зарубежного уровня (1,4 % ВВП) и уровня стран-лидеров (2 % в Финляндии, т. е. примерно в 200 раз ниже; 3,1 % в Норвегии, т. е. в 300 раз ниже). Можно предположить, что в интересах «лесной продукции» этот показатель еще ниже, исследования проводят преимущественно ученые соответствующих кафедр и подразделений высших учебных заведений. Здесь важно отметить некоторые особенности выполнения научно-исследовательских работ в вузах: в последнее время, несмотря на уменьшающиеся объемы финансирования, а может быть и вопреки, получило развитие НИР на базе магистратуры-аспирантуры выпускающих кафедр. Выполняемые работы соответствуют мировым тенденциям развития, однако практически полностью отсутствует должная координация и необходимая направленность исследований, вопросы прогнозирования в этом случае не востребованы и не рассматриваются должным образом.

Выводы

Совокупность «лесных» исследований мира, в том числе «лесной продукции», базирующаяся на достаточно значимом числе работ ученых лесного сообщества в рамках ИЮФРО может служить объективной основой для оценки существующего состояния «лесной» науки.

Направленность исследований мирового сообщества, прогнозные оценки имеют содержательное и важное значение, должны анализироваться и учитываться при планировании и выполнении отечественных лесных исследований, особенно в развивающемся процессе интеграции российской науки в мировое научное пространство.

В условиях нашей страны необходимо существенное (возможно, не на один порядок) увеличение объемов «лесных» исследований, представляется целесообразным определенная координация выполняемых исследований, прогнозирование их направленности.

При планировании в высших учебных заведениях следует усилить финансирование проведения экспериментальных работ, необходимых для обеспечения НИР в рамках магистратуры-аспирантуры.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/8.9 «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».

Список литературы

- [1] Johann E., Buck A., Burger B., Kleine M., Pruller R., Wolfrum G. 125 Years of IUFRO. History of the International Union of Forest Research Organizations 1892–2017. Vienna: Eigner Druck, 128 p.
- [2] ИЮФРО (Официальный сайт). URL: <https://www.iufro.org/> (дата обращения 01.02.2018).
- [3] Тепляков В.К., Шалаев В.С. История съездов ИЮФРО и Россия: в 2 т. М.: МГУЛ, 2015. Т. 1. 469 с. Т. 2. 372 с.
- [4] Шалаев В.С. Научно-исследовательская работа. Конспект лекций. Ч. 1. М.: МГУЛ, 2016. 72 с.
- [5] Шалаев В.С., Рыкунин С.Н. Лесная продукция: прогнозирование исследований // Леса России: политика, промышленность, наука, образование / под ред. В.М. Гедьо, 2018. С. 313–316.
- [6] Shalaev V.S. Forest Research in the World // Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design, INNO, 2012, v. I, no. 1, pp. 5–10.
- [7] Шалаев В.С. Направления лесных исследований в мире. Навстречу XXIV Всемирному конгрессу ИЮФРО // Науч. тр. «Технология и оборудование для переработки древесины». Вып. 370. М.: МГУЛ, 2014. С. 4–9.
- [8] Тепляков В.К., Шалаев В.С. История съездов ИЮФРО и Россия: в 2 т. М.: МГУЛ, 2014. Т. 1. 468 с., Т. 2. 338 с.
- [9] Teplyakov V.K., Shalaev V.S. A History of IUFRO Congresses, Forest research and Russia's Participation. Translation of the 2d Russian edition / Ed. J.A. Parrotta, Natarajan P. Parrotta. Seoul: Publishing House DongJinMoonHwaSa, 2017, 581 p.
- [10] Шалаев В.С. Направления исследований лесной продукции в мире: от Любляны до Солт-Лейк-Сити // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2015. Вып. 1 (19). С. 229–232.
- [11] Shalaev V.S. Forest Products Research in the World: from Ljubljana up to Salt Lake City // Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design, 2015, v. IV, no. 2, pp. 5–10.
- [12] Liese W. Future research in forestry // Congress Report 18th IUFRO World Congress. 7–21 September, 1986, pp. 44–52.
- [13] Youngs R.L., Youngquist J.A. Forest Products Research in IUFRO: History and Future in Meeting Society's Needs. URL: <http://iufro2000.com> (дата обращения 01.02.2018).
- [14] Санаев В.Г., Шалаев В.С., Никитин В.В. Некоторые результаты XXIV Всемирного конгресса ИЮФРО // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2014. Вып. 6 (18). С. 226–231.
- [15] International Union of Forest Research Organizations. XXIV World Congress. Oct. 5–11, 2014. Program. Salt Lake City, USA: Outline & Schedule, 260 p.
- [16] The International Forestry Review. Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research. XXIV IUFRO World Congress, 5–11 October, 2014, Salt Lake City, USA. Abstracts / Ed. Parrotta J.A., Mose C.F.r, Scherzer A.J., Koerth N.E., Lederle D.R. Salt Lake City, USA: Commonwealth Forestry Association, 2014, v. 16 (5), 578 p.

Сведения об авторах

Шалаев Валентин Сергеевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), shalaev@mgul.ac.ru

Рыкунин Станислав Николаевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rykunin@mgul.ac.ru

Мелехов Владимир Иванович — д-р техн. наук, профессор САФУ им. М.В. Ломоносова, doctor.mart11@mail.ru

Поступила в редакцию 07.06.2018.

Принята к публикации 27.11.2018.

FORECASTING RESEARCH OF «FOREST PRODUCTS»V.S. Shalaeв¹, S.N. Rykunin¹, V.I. Melekhov²¹BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia²Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NARFU), nab. Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia

shalaeв@mgul.ac.ru

The International Union of Forest Research Organizations (IUFRO), which unites scientists of the world scientific forest community, is widely known. This organization includes more than 15 thousand scientists from more than 600 organizations in 126 countries. The activity of the Union reflects the whole spectrum of «forest» research of the world including «forest products». Currently, within the framework of IUFRO, the Strategy of the International Union of Forest Research Organizations 2015–2019 adopted at the 24th World Congress in Salt Lake City in 2014, is in effect. The strategy emphasizes among other things the importance of the identified areas of forest products research and in the most general form determines the dynamics of their development. And the strategy includes the goal of striving to improve research by creating a forecasting mechanism. At conference 5 IUFRO Division in Vancouver in June 2017 the forecasting issues were discussed and emphasized. When predicting the future of society and related problems specific subject areas for the development of science, technology and education were projected. In our country research and development are currently being carried out mainly by organizations and institutions of the sectoral, university and academic sectors. At the same time, the volume of research in the interests of the forestry complex is at a very low level: expenditures on «science» make up about 0.01 % of the industry's GDP, which is significantly lower than the average foreign level. It can be assumed that in the interests of «forest products» this indicator is even lower. The works performed correspond to the world development trends, however, the coordination and the necessary direction of research are almost completely lacking, the forecasting issues in this case are not demanded and are not properly considered. Among the conclusions are the aggregate of «forest» research of the world, including «forest products», can serve as an objective basis for assessing the existing state; the direction of the world community's research, the projections in this case are meaningful and important, should be analyzed and taken into account in the planning and implementation of domestic forestry research; in the conditions of our country, there is a need for a substantial increase in the volumes of «forest» research, a certain coordination of the research carried out, and the prediction of their orientation; when planning in universities, funding should be strengthened for carrying out the experimental work required to provide research.

Keywords: International Union of Forest Research Organizations, «forest products», forecasting, research

Suggested citation: Shalaeв V.S., Rykunin S.N., Melekhov V.I. *Prognozirovaniye issledovaniy «lesnoy produktzii»* [Forecasting Research of «Forest Products»]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 110–117. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-110-117

References

- [1] Johann E., Buck A., Burger B., Kleine M., Pruller R., Wolfrum G. 125 Years of IUFRO. History of the International Union of Forest Research Organizations 1892–2017. Vienna: Eigner Druck, 128 p.
- [2] IUFRO. URL.: <https://www.iufro.org/> (accessed 01.02.2018).
- [3] Teplyakov V.K., Shalaeв V.S. *Istoriya s'ezdov IYuFRO i Rossiya* [History of Congresses IUFRO and Russia]. Moscow: MGUL, 2015, t. 1, 469 p., t. 2, 372 p.
- [4] Shalaeв V.S. *Nauchno-issledovatel'skaya rabota. Konspekt lektsiy* [Research work. Lecture notes]. Moscow: MGUL, 2016, 72 p.
- [5] Shalaeв V.S., Rykunin S.N. *Lesnaya produktsiya. prognostirovaniye issledovaniy* [Forest products. forecasting research] *Lesnaya Rossiya: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie* [Forests of Russia: politics, industry, science, education]. Ed. V.M. Ged'o, 2018, pp. 313–316.
- [6] Shalaeв V.S. Forest Research in the World. *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design*, INNO, 2012, v. I, no. 1, pp. 5–10.
- [7] Shalaeв V.S. *Napravleniya lesnykh issledovaniy v mire: Navstrechu XXIV Vsemirnomu kongressu IYuFR* [Directions of forest research in the world: Towards the XXIV World Congress of IUFRO]. *Nauchnyye trudy «Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny»* [Scientific works «Technology and equipment for wood processing»]. Moscow: MGUL, 2014, v. 370, pp. 4–9.
- [8] Teplyakov V.K., Shalaeв V.S. *Istoriya s'ezdov IYuFRO i Rossiya* [History of Congresses IUFRO and Russia]. Moscow: MGUL, 2014, t. 1, 468 p., t. 2, 338 p.
- [9] Teplyakov V.K., Shalaeв V.S. A History of IUFRO Congresses, Forest research and Russia's Participation. Translation of the 2d Russian edition. Ed. Parrotta J.A., Parrotta Natarajan P. Seoul: Publishing House DongJinMoonHwaSa, 2017, 581 p.
- [10] Shalaeв V.S. *Napravleniya issledovaniy lesnoy produktzii v mire: ot Lyublyany do Solt-Leyk-Siti* [Directions of research of forest products in the world: from Ljubljana to Salt Lake City]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2015, v. 1(19), pp. 229–232.
- [11] Shalaeв V.S. Forest Products Research in the World: from Ljubljana up to Salt Lake City. *Innovation in Woodworking Industry and Engineering Design*, 2015, v. IV, no. 2, pp. 5–10.
- [12] Liese W. Future research in forestry. Congress Report 18th IUFRO World Congress. 7–21 September, 1986, pp. 44–52.
- [13] Youngs R.L., Youngquist J.A. Forest Products Research in IUFRO: History and Future in Meeting Society's Needs. URL: <http://iufro2000.com> (accessed 01.02.2018 r.)

- [14] Sanaev V.G., Shalaev V.S., Nikitin V.V. Nekotorye rezul'taty XXIV Vsemirnogo kongressa IYuFRO. Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2014, v. 6(18), pp. 226–231.
- [15] International Union of Forest Research Organizations. XXIV World Congress. Oct. 5–11, 2014. Program. Salt Lake City, USA: Outline & Schedule, 260 p.
- [16] The International Forestry Review. Sustaining Forests, Sustaining People: The Role of Research. XXIV IUFRO World Congress, 5–11 October 2014, Salt Lake City, USA. Abstracts. Ed. Parrotta J.A., Mose C.F.r, Scherzer A.J., Koerth N.E., Lederle D.R. Salt Lake City, USA: Commonwealth Forestry Association, 2014, v. 16(5), 578 p.

Authors' information

Shalaev Valentin Sergeevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), shalaev@mgul.ac.ru

Rykunin Stanislav Nikolaevich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), rykunin@mgul.ac.ru

Melekhov Vladimir Ivanovich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the NARFU, doctor.mart11@mail.ru

Received 07.06.2018.

Accepted for publication 27.11.2018.

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ТОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ УГОЛ – ПАРАМЕТР – КОД

А.В. Алексеев¹, В.В. Алексеев², Р.И. Князев², Ю.Т. Котов³,
В.М. Полушкин², Ю.П. Батырев³, В.А. Есаков³

¹ОАО «Радиоприборснаб», 141014, Московская обл., г. Мытищи, ул. Трудовая, д. 31, стр. 1

²Филиал ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, 141006, Московская обл., г. Мытищи, ул. Комарова, д. 13, корп. 3

³МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

batyrev@mgul.ac.ru

Приведены результаты исследований по влиянию повышенной температуры окружающей среды и внешнего электромагнитного поля на точностные характеристики и информационную способность преобразователя угол – параметр – код различных типов. Показано, что указанные воздействия являются наиболее критичными для этих преобразователей. Максимальные значения воздействующих факторов уменьшают информационную способность преобразователей в 3–5 раз.

Ключевые слова: преобразователь угол – параметр – код, точность, информационная способность, температура, электромагнитное поле

Ссылка для цитирования: Алексеев А.В., Алексеев В.В., Князев Р.И., Котов Ю.Т., Полушкин В.М., Батырев Ю.П., Есаков В.А. Влияние условий эксплуатации на точностные характеристики преобразователей угол – параметр – код // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 118–124.
DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-118-124

Цифровые преобразователи угол-параметр-код (УПК) предназначены для преобразования информации об угле, скорости в код. Эти преобразователи используются во многих системах автоматического управления и в значительной мере определяют уровень их технических характеристик [1–17]. Основным критерием качества функционирования преобразователей УПК являются их точностные характеристики в реальных условиях эксплуатации. До настоящего времени в технической литературе все сведения о влиянии внешних эксплуатационных факторов на эти характеристики носят неполный характер, что не позволяет сделать выводы о качестве функционирования преобразователей УПК в аппаратуре.

Цель работы

Целью настоящих исследований являлось определение степени влияния повышенной температуры окружающей среды и внешнего электромагнитного поля (ЭМП) на точностные характеристики преобразователей УПК.

Материалы и методы

Для проведения испытаний на воздействие повышенной температуры и внешнего ЭМП на вращающийся трансформатор (ВТ) было разработано специальное устройство [18]. Благодаря ему представилась возможность проведения измерения погрешности координат смены значений кода E_2 преобразователя УПК на всем обороте вала ВТ в 256 угловых координатах, а не в одной угловой координате, как до этого выполнялось

существующим методом [17]. Указанный объем измерений дает возможность с высокой степенью достоверности определять вид закона распределения вероятностей (ЗРВ) погрешности E_2 .

Сущность разработанного подхода заключается в том, что определяется не достоверность кода, регламентированная стандартом [12], а информационная способность преобразователя. В этом случае метод ее определения базируется на знании ЗРВ погрешности преобразования E , состоящей из суммы погрешности квантования E_1 и погрешности E_2 . В начале определяется величина потерь информации ΔH на основе отношения средних квадратических отклонений σ погрешностей идеального (он имеет только погрешность E_1) и реального преобразователя $E_{\text{рн}}$. При этом в среднее квадратическое отклонение реального датчика $\sigma(E_{\text{рн}})$ должно входить среднее значение погрешности, которое реализуется по принципу сложения дисперсий. Величина ΔH вычисляется по формуле $\Delta H = -\log_2(\sigma(E_1) / \sigma(E_{\text{рн}}))$. Затем определяется информационная способность преобразователя, выраженная в битах $m = n - \Delta H$, где n — разрядность преобразователя. Информационная способность в квантах выглядит как $M = 2^m$ [2, 19, 20].

Результаты и обсуждение

Воздействие повышенной температуры окружающей среды при проведении испытаний было направлено либо на аналоговый датчик угла, либо на аналого-цифровой преобразователь сигналов ВТ в код (АЦПВТ), либо на обе эти составные части преобразователя УПК. В испытаниях

Т а б л и ц а 1

Оценка точностных возможностей преобразователей УПК при воздействии на ВТ и АЦПВТ повышенной температуры существующим и разработанным методами

Assessment of the accuracy capabilities of converters of the CPC when exposed to high-voltage and high-temperature converters high temperature by existing and developed methods

Тип ВТ, заводской номер	Тип АЦПВТ, заводской номер	В соответствии с норма- тивной документацией		С использованием математических моделей				
		$d(E_2)$, угл.с	$d_1(E_2) / d(E_2)$	$d_1(E_2) / d(E_2)$	M / M_T	$\delta_{ухудш}$	Δm , бит	ΔM , квант/°С
2,5БВТ 09800044	ПФК-12 005	2468	1,11	1,93	3,43	1,78	0,83	13,5
2,5БВТ 09800044	CSR-2401 +M5000	2048	1,33	1,70	2,32	1,36	0,44	3,9
2,5ВТ 116178	ПВК-10 002	1440	2,06	1,58	3,29	2,08	1,06	6,0
2,5ВТ 116178	ПВК-10* 002	1440	1,21	1,25	1,43	1,14	0,19	7,2
2,5ВТ 116178	ПВК-10** 002	1440	2,00	2,07	4,49	2,17	1,12	6,5
2,5ВТ 116009	RDC-1704 8203297	333	1,23	1,15	1,44	1,25	0,53	8,7

Примечание. * — ВТ в нормальных условиях ($T = 20^\circ\text{C}$), ПВК-10 при $T = 50^\circ\text{C}$; ** — ВТ при $T = 85^\circ\text{C}$, ПВК-10 при $T = 50^\circ\text{C}$; в остальных случаях ВТ при $T = 100^\circ\text{C}$; величины, полученные при воздействии повышенной температуры, обозначены индексом «Т».

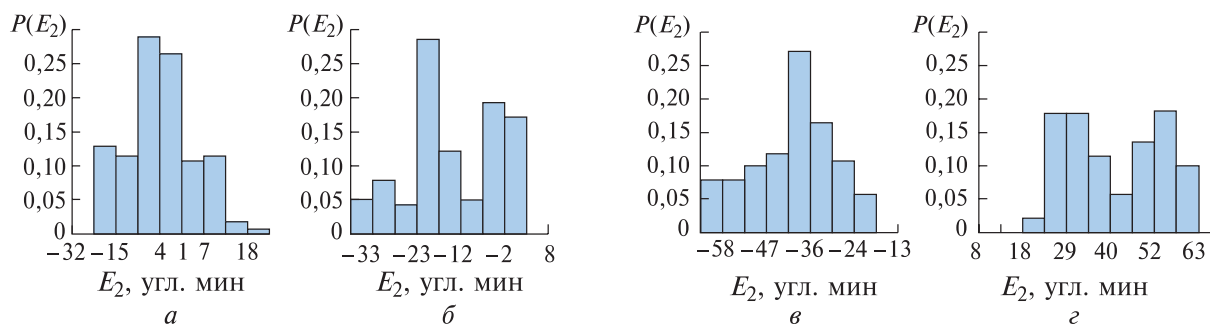


Рис. 1. Распределение вероятностей погрешности E_2 преобразователей УПК, составленных из ВТ типа 2,5БВТ (а-г) и АЦПВТ типов CSR-2401 (а, б) и ПФК-12 (в, г)

Fig. 1. The probability distribution of the error of the E_2 converters of the CPC, composed of VT type 2.5BT (a-g) and ATCVT types CSR-2401 (a, б) and PFC-12 (в, г)

были использованы ВТ типов: 2,5ВТ, 2,5БВТ и БИФ-112. Также для испытаний были выбраны четыре типа отечественных 10-, 12-, 13-разрядных АЦПВТ и два типа зарубежных 10- и 14-разрядных АЦПВТ. В результате у преобразователей УПК отмечено ухудшение всех основных статистических параметров ЗРВ погрешности E_2 . В табл. 1 приведены значения изменений, обусловленных воздействием на ВТ и (или) АЦПВТ повышенной температуры. Из таблицы видно, что ухудшение у всех преобразователей УПК происходило практически по всем параметрам ЗРВ. Информационная способность преобразователя уменьшается при воздействии температуры 45 и 65 °С на АЦПВТ соответственно в 1,24 и 1,6 раза. Воздействие на ВТ температуры

85 и 100 °С приводит к уменьшению информационной способности преобразователя в 1,44 и 3,43 раза. При расчете этих изменений на 1 °С можно сделать вывод, что для исследованных преобразователей УПК воздействие повышенной температуры на ВТ или АЦПВТ приводит приблизительно к равному изменению информационной способности преобразователя. При воздействии одновременно на ВТ температуры 85 °С и на АЦПВТ –50 °С информационная способность преобразователя уменьшается в худшем случае в 4,5 раза.

На рис. 1 представлены ЗРВ статистического вида погрешности E_2 преобразователей УПК при нормальных условиях и при воздействии повышенной температуры окружающей среды.

Т а б л и ц а 2

**Интегральная оценка точности преобразователей УПК
в процессе воздействия ЭМП на ВТ и АЦПВТ****Integral assessment of the accuracy of the converters of the CPC
in the process of exposure to EMF on VT and ATCVT**

Тип ВТ, заводской номер	Тип АЦПВТ, заводской номер	Вид ЭМП; $H, A/m$	Нормальные условия		ЭМП				
			$d(E_2),$ угл.с	$M,$ квант	$d(E_2)^*,$ угл.с	$M_{\text{ЭМП}},$ квант	$M / M_{\text{ЭМП}}$	$\Delta m,$ бит	$\Delta M,$ квант / A/m
2,5ВТ 116009	RDC-1704 8203297	Пост.; 500	333	3984	381	2746	1,45	0,54	2,5
2,5ВТ 116009	RDC-1704 8203297	Пер., 50 Гц; 940	333	3984	426	832	4,79	2,26	3,3
2,5ВТ 116009	RDC-1704 8203297	Пер., 00 Гц; 557	333	3984	632	1746	2,28	1,19	4,0
2,5БВТ 09800044	CSR-2401 +M5000	Пер., 400 Гц; 350	2048	431	2411	182	2,37	1,24	5,3

Примечание. $d(E_2)^*$ — диапазон ЗРВ погрешности E_2 преобразователя УПК в процессе воздействия ЭМП; Δm — уменьшение информационной способности преобразователя УПК в процессе воздействия ЭМП. Преобразователи УПК на основе RDC-1704 — 14-разрядные, на основе CSR-2401 — 10-разрядные.

Из рис. 1 видно, что воздействие температуры вызывает большое смещение ЗРВ, превышающее по величине диапазон закона. Смещение наблюдается в сторону как увеличения, так и уменьшения угла, т. е. погрешности либо положительные, либо отрицательные. Вид закона имеет тенденцию к ухудшению: наблюдается увеличение несимметричности, двухмодальности. Следовательно, при измерении погрешности E_2 преобразователя при воздействии температуры имеет место изменение вида ЗРВ и его параметров. Что влечет в дальнейшем к существенно уменьшению информационной способности преобразователя УПК.

Для сравнения оценка точности ВТ в условиях повышенной температуры существующим методом (по нормативной документации) дает увеличение погрешности в лучшем случае в 1,13 раза (против 1,24 при оценке разработанным методом) и в худшем случае в 2,27 раза (против 4,25). Таким образом, действительные значения ухудшения точностных возможностей преобразователя УПК отличаются от оценки их по нормативной документации в 1,07–2,17 раза.

В ходе проводимых испытаний воздействию ЭМП подвергались только ВТ. Это обусловлено тем, что эти изделия более критичны к этому фактору. В качестве испытуемых аналоговых датчиков угла были взяты ВТ типов 2,5ВТ и 2,5БВТ, а в качестве АЦПВТ — зарубежные 14- и 10-разрядные преобразователи сигналов ВТ в код типов RDC-1704 и CSR-2401, выпускаемые фирмами Memory Devices Inc. и Astrosystems (США).

Точностные характеристики УПК при воздействии ЭМП, вид ЗРВ, а также изменение

оценки математического ожидания ведут себя аналогично точностным характеристикам ВТ при воздействии на него такого же ЭМП. Это является естественным, так как поле в обоих случаях действовало только на ВТ. Однако в преобразователе возросло негативное влияние помех, возникающих в выходных сигналах ВТ от воздействия ЭМП. Это влияние оказалось настолько большим, что при воздействии переменного ЭМП напряженностью $H = 557 A/m = 7 Э$ и частотой $f = 400 Гц$ (той же частоты, с какой был запитан ВТ) два младших разряда 14-разрядного преобразователя не идентифицировались. Логические «0» и «1» «шумели». То есть действие ЭМП заметно проявилось во всем тракте преобразований аналогового сигнала ВТ в код. Поэтому параметры ЗРВ погрешности преобразователя УПК изменились в большей степени, чем у ВТ.

Основной вклад в изменение информационной способности преобразователя УПК оказывает смещение всех угловых координат в одну сторону, что приводит к появлению большой систематической погрешности. Погрешность преобразователя, возникающая от воздействия ЭМП, носит обратимый характер: после снятия воздействия параметры преобразователя возвращаются к тому уровню, который был до воздействия.

В табл. 2 приведены результаты интегральной оценки точности преобразователей УПК в процессе воздействия ЭМП.

Из табл. 2 видно, что воздействие постоянного ЭМП вызывает существенно меньшие изменения точностных и информационных характеристик, чем переменного. Воздействие перемен-

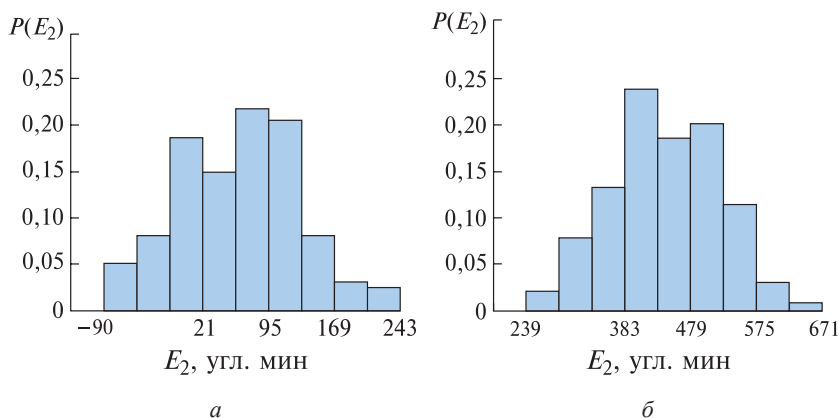


Рис. 2. Распределение вероятностей погрешности E_2 преобразователя УПК, составленного из ВТ типа 2,5ВТ и АЦПВТ типа RDC-1704, в нормальных условиях (а) и при воздействии на ВТ переменного ЭМП частотой 50 Гц и напряженностью 940 А/м (б)

Fig. 2. The probability distribution of the error E_2 of the converter of the CPC, made up of VT type 2.5W and ATCVT type RDC-1704, under normal conditions (a) and when a variable EMF frequency of 50 Hz and a voltage of 940 A/m (б) is applied to the VT

ного ЭМП частотой 400 Гц и напряженностью 350 А/м (4,4 Э) приводит к уменьшению информационной способности преобразователя УПК в 1,75–2,37 раза в зависимости от типа преобразователя. ЭМП напряженностью 557 А/м (7 Э) приводит к уменьшению информационной способности преобразователя в 2,3 раза. Переменные ЭМП частотой 50 Гц и напряженностью 940 А/м (11,8 Э) характеризуются достаточно жестким воздействием, что приводит к понижению информационной способности преобразователя в 4,8 раза.

На рис. 2 представлены ЗРВ погрешности E_2 преобразователя УПК при воздействии на ВТ внешнего ЭМП. В принципе воздействие ЭМП приводит к аналогичным изменениям ЗРВ погрешности E_2 и его параметрам, как и при воздействии температуры. Некоторые отличия заключаются в том, что вид ЗРВ изменяется меньше, а смещение среднего значения больше. Это обусловлено тем, что воздействие температуры вызывает небольшие деформации активных частей ВТ — статора и ротора, но они являются источником значимого увеличения погрешности ВТ и, как следствие, погрешности преобразователя УПК. При воздействии же ЭМП на ВТ этих деформаций не возникает.

Из изложенного можно сделать вывод, что ЭМП является достаточно критичным фактором, сравнимым по степени влияния на точность преобразователя с температурными воздействиями. Например, при воздействии на ВТ требуемого уровня температуры 85–100 °С имеется равный эффект влияния на информационную способность преобразователя УПК, как и при воздействии на ВТ уровней по-

стоянного ЭМП напряженностью 477 А/м (6 Э) или переменного ЭМП напряженностью 318 А/м (4 Э), уровень которых определяется, как правило, условиями эксплуатации в аппаратуре.

Выводы

1. В ходе проведенных исследований разработан метод контроля и оценки точностных и информационных характеристик преобразователей УПК при воздействии на них внешних факторов — повышенной температуры и внешнего ЭМП.

2. Установлено, что информационная способность преобразователей УПК при воздействии температуры на ВТ уменьшилась в 3,43 раза, при воздействии на АЦПВТ — в 1,6 раза, а при воздействии на обе составные части одновременно — в 4,5 раза. Это свидетельствует о большой критичности воздействия повышенной температуры окружающей среды на функциональные характеристики различных преобразователей УПК. Рекомендуется избегать воздействия повышенной температуры окружающей среды при эксплуатации данного типа УПК.

3. Воздействие ЭМП на ВТ вызывает существенное изменение параметров ЗРВ погрешности преобразователя. Информационная способность преобразователя при воздействии на ВТ переменного ЭМП частотой 400 Гц и напряженностью 557 А/м (7 Э) уменьшилась в 2,3 раза, а с частотой 50 Гц и напряженностью 940 А/м (11,8 Э) — в 4,8 раза. Таким образом, ЭМП является достаточно критичным фактором, сравнимым по степени влияния на точность преобразователя с температурными воздействиями.

Список литературы

- [1] Домрачев В.Г., Мейко Б.С. Цифровые преобразователи угла. М.: Энергоатомиздат, 1984. 328 с.
- [2] Алексеев А.В., Алексеев В.В., Князев Р.И., Полушкин В.М. Информационная оценка точности цифровых преобразователей угла // Военная электроника и электротехника. Научно-технический сборник. М.: ФГБУ «46ЦНИИ» Минобороны России, 2015. Вып. 67(Ф). С. 138–146.
- [3] Ануфриев В., Лужбинин А., Шумилин С. Методы обработки сигналов индуктивных датчиков линейных и угловых перемещений // Современная электроника, 2014. № 4. С. 30–33.
- [4] Смирнов Ю.С., Юрасова Е.В., Вставская Е.В., Никитин И.С. Специфика применения синусно-косинусных сенсоров // Материалы VII Российской конференции «Информационные технологии в управлении» (ИТУ-2014). Санкт-Петербург, ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 07–09 октября 2014 г. СПб.: ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2014. С. 720–729.
- [5] Сафронов В.В. Теория и практика применения датчиков угла поворота на основе СКВТ // Компоненты и технологии, 2014. № 4. С. 26–30.
- [6] Смирнов Ю.С., Юрасова Е.В., Козина Т.А. Полифункциональный фазовый преобразователь перемещения // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. Москва, ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 16–19 июня 2014 г. М.: ИПУ им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. С. 7171–7182.
- [7] Болгов И.С., Дементьев Ю.Н. Прецизионный преобразователь с функцией формирования кода скорости вращения в совокупности с индукционным датчиком угла // Фундаментальные исследования, 2016. № 7–1. С. 9–13.
- [8] Мясников В.А., Зверев А.Е., Максимов В.П. Преобразователи угловых перемещений в цифровой код. Л.: Энергия, 1974. 203 с.
- [9] Пахоменков Ю.М. Диагностика трансформаторных датчиков угла с применением контрольных функций // Системы управления и обработки информации, 2015. № 31. С. 135–142.
- [10] Домрачев В.Г., Матвеевский В.Р., Смирнов Ю.С. Схемотехника цифровых преобразователей перемещений. М.: Энергоатомиздат, 1987. 392 с.
- [11] Смирнов Ю.С. Электромехатронные преобразователи / под ред. А.Л. Шестакова. Челябинск: ЮУрГУ, 2013. 361 с.
- [12] ГОСТ РВ 52015–2003. Преобразователи угла цифровые. Общие технические условия. Введ. 2003-05-02. М.: Госстандарт России. Изд-во стандартов, 2003. 53 с.
- [13] Домрачев В.М., Сигачев И.П. Цифровой преобразователь угла. Патент на изобретение РФ № 2365032 от 20.08.2009 г. Бюл. 23.
- [14] Шляндин В.М. Цифровые измерительные преобразователи и приборы. М.: Высшая школа, 1973. 280 с.
- [15] Ахметжанов А.А. Системы передачи угла повышенной точности. М.–Л.: Энергия, 1966. 272 с.
- [16] Аникст Д.А., Константинович К.М., Меськин И.В. Высокоточные угловые измерения / под ред. Ю.Г. Якушенкова. М.: Машиностроение, 1987. 480 с.
- [17] ГОСТ РВ 51816–2001. Трансформаторы вращающиеся. Групповые технические условия. Дополнение к государственному военному стандарту Российской Федерации. М.: Стандартиформ, 2005. 4 с.
- [18] Алексеев В.В. Горбанев В.А., Рыжков А.А. Устройство для измерения погрешностей вращающегося трансформатора. Авторское св-во СССР № 1005245, МКИ H03K24/00. / заявлено 18.09.81 г. Опубликовано 15.03.83 г. Бюл. № 10.
- [19] Сафронов В.В. Способ измерения угла поворота вала привода и устройство для его реализации. Патент РФ № 2580153, G01B7/30 / заявитель ФГУП «ЦНИИмаш». Опубл. 10.04.2016 г. Бюл. № 10.
- [20] Агапов М.Ю. Аттестация высокоразрядных датчиков угла // Материалы докладов V Конференции молодых ученых «Навигация и управление движением». Санкт-Петербург, ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 15 марта–30 ноября 2011 г. / под общ. ред. В.Г. Пешехонова. СПб.: ОАО «Концерн ЦНИИ «Электроприбор», 2004. С. 173.

Сведения об авторах

Алексеев Александр Валерьевич — начальник отдела ОАО «Радиоприборснаб», hit-el@mail.ru

Алексеев Валерий Васильевич — старший научный сотрудник филиала ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@mail.ru

Князев Роман Игоревич — старший научный сотрудник филиала ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@mail.ru

Котов Юрий Терентьевич — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kotov46@inbox.ru

Полушкин Вячеслав Михайлович — заместитель начальника отдела, начальник лаборатории филиала ФГБУ «46 ЦНИИ» Минобороны России, hit-el@mail.ru

Батырев Юрий Павлович — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), batyrev@mgul.ac.ru

Есаков Виталий Анатольевич — канд. техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), esakov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 09.09.2018.

Принята к публикации 26.11.2018.

INFLUENCE OF OPERATING CONDITIONS ON THE ACCURACY CHARACTERISTICS ANGLE – PARAMETER – CODE CONVERTERS

A.V. Alekseev¹, V.V. Alekseev², R.I. Knyazev², T.Yu. Kotov³, V.M. Polushkin²,
Yu.P. Batyrev³, V.A. Esakov³

¹Radiopriborsnab, 31, buil. 1, Trudovaya st., 141014, Mytishchi, Moscow reg., Russia

²Branch of the FGBI 46 the «Central research Institute» of the Ministry of defense of Russia, 13, buil. 3, Komarova st., 141006, Mytishchi, Moscow reg., Russia

³BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

batyrev@mgul.ac.ru

The results of studies effect of elevated ambient temperature and the external electromagnetic field on the accuracy characteristics and information capacity angle – parameter – code converter of various types are presented. It is shown that these effects are the most critical for these converters. The maximum values of the influencing factors reduce information capacity of converters by 3–5 times.

Keywords: angle – parameter – code converter, accuracy, information ability, temperature, electromagnetic field

Suggested citation: Alekseev A.V., Alekseev V.V., Knyazev R.I., Kotov Yu.T., Polushkin V.M., Batyrev Yu.P., Esakov V.A. *Vliyanie usloviy ekspluatatsii na tochnostnye kharakteristiki preobrazovateley ugol – parametr – kod* [Influence of operating conditions on the accuracy characteristics angle – parameter – code converters]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 118–124. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-118-124

References

- [1] Domrachev V.G., Meyko B.S. *Tsifrovye preobrazovateli ugla* [Digital angle converters]. Moscow: Energoatomizdat, 1984, 328 p.
- [2] Alekseev A.V., Alekseev V.V., Knyazev R.I., Polushkin V.M. *Informatsionnaya otsenka tochnosti tsifrovyykh preobrazovateley ugla* [Information assessment of the accuracy of digital angle converters] // *Military Electronics and Electrical Engineering. Scientific and technical collection. Iss. 67(F)*. Moscow: «46TsNII» Minoborony Rossii [«46CNII» of the Ministry of Defense of Russia], 2015, pp. 138–146.
- [3] Anufriev V., Luzhbinin A., Shumilin S. *Metody obrabotki signalov induktivnykh datchikov lineynykh i uglovykh peremeshcheniy* [Methods of signal processing of inductive sensors of linear and angular displacements] // *Sovremennaya elektronika* [Modern Electronics], 2014, no. 4, pp. 30–33.
- [4] Smirnov Yu.S., Yurasova E.V., Vstavskaya E.V., Nikitin I.S. *Spetsifika primeneniya sinusno-kosinusnykh sensorov* [Specific use of sine-cosine sensors] // *Materialy VII Rossiyskoy konferentsii «Informatsionnye tekhnologii v upravlenii» (ITU-2014)* [Proceedings of the 7th Russian Conference «Information Technologies in Management» (ITU-2014)]. St. Petersburg, Concern Central Research Institute Elektropribor, October 07–09, 2014. St. Petersburg: «Kontsern «TsNII «Elektropribor» [Concern Central Research Institute Elektropribor], 2014, pp. 720–729.
- [5] Safronov V.V. *Teoriya i praktika primeneniya datchikov ugla povorota na osnove SKVT* [Theory and practice of using angle-of-turn sensors based on SCWT] // *Komponenty i tekhnologii* [Components and technologies], 2014, no. 4, pp. 26–30.
- [6] Smirnov Yu.S., Yurasova E.V., Kozina T.A. *Polifunktional'nyy fazovyy preobrazovatel' peremeshcheniya* [Polyfunctional phase displacement transducer] // *XII Vserossiyskoe soveshchanie po problemam upravleniya VSPU-2014*. Moskva, IPU im. V.A. Trapeznikova RAN, 16–19 iyunya 2014 g. [XII All-Russian Meeting on the problems of control of the ASCP-2014. Moscow, IPU them. V.A. Trapeznikova, Russian Academy of Sciences, June 16–19, 2014]. Moscow: IPU im. V.A. Trapeznikova of the Russian Academy of Sciences, 2014, pp. 7171–7182.
- [7] Bolgov I.S., Dement'ev Yu.N. *Pretsizionnyy preobrazovatel' s funktsiyey formirovaniya koda skorosti vrashcheniya v sovokupnosti s induktsionnym datchikom ugla* [Precision transducer with the function of forming the rotation speed code in conjunction with the induction angle sensor] // *Fundamental'nye issledovaniya* [Basic Research], 2016, no. 7–1, pp. 9–13.
- [8] Myasnikov V.A., Zverev A.E., Maksimov V.P. *Preobrazovateli uglovykh peremeshcheniy v tsifrovoy kod* [Converters of angular movements in a digital code]. Leningrad: Energy, 1974, 203 p.
- [9] Pakhomenkov Yu.M. *Diagnostika transformatornykh datchikov ugla s primeneniem kontrol'nykh funktsiy* [Diagnostics of transformer angle sensors using control functions] // *Sistemy upravleniya i obrabotki informatsii* [Control Systems and Information Processing], 2015, no. 31, pp. 135–142.
- [10] Domrachev V.G., Matveevskiy V.R., Smirnov Yu.S. *Skhemitekhnika tsifrovyykh preobrazovateley peremeshcheniy* [Circuit design digital motion converters]. Moscow: Energoatomizdat, 1987, 392 p.
- [11] Smirnov Yu.S. *Elektromekhatronnye preobrazovateli* [Electromechatronic converters] / Ed. A.L. Shestakova. Chelyabinsk: SUSU, 2013, 361 p.
- [12] *GOST RV 52015–2003. Preobrazovateli ugla tsifrovye. Obshchie tekhnicheskie usloviya* [GOST RV 52015–2003. Digital angle converters. General technical conditions. Enter 2003-05-02]. Moscow: Gosstandart Rossii. Izd-vo standartov [State Standard of Russia. Standards Publishing House], 2003, 53 p.
- [13] Domrachev V.M., Sigachev I.P. *Tsifrovoy preobrazovatel' ugla* [Digital angle converter]. Pat. Russian Federation, no. 2365032, dated 08.20.2009, bull. 23.
- [14] Shlyandin V.M. *Tsifrovye izmeritel'nye preobrazovateli i pribory* [Digital measuring transducers and devices]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1973, 280 p.
- [15] Akhmetzhanov A.A. *Sistemy peredachi ugla povyshennoy tochnosti* [High accuracy angle transmission systems]. Moscow–Leningrad: Energiya [Energy], 1966, 272 p.
- [16] Anikst D.A., Konstantinovich K.M., Mes'kin I.V. *Vysokotochnnye uglovye izmereniya* [High-precision angular measurements] / Ed. Yu.G. Yakushenkov. Moscow: Mashinostroenie, 1987, 480 p.

- [17] *GOST RV 51816–2001. Transformatory vrashchayushchiesya. Gruppovye tekhnicheskie usloviya. Dopolnenie k gosudarstvennomu voennomu standartu Rossiyskoy Federatsii* [GOST RV 51816–2001. Rotary transformers. Group technical conditions. Addition to the state military standard of the Russian Federation]. Moscow: Standardinform, 2005, 4 p.
- [18] Alekseev V.V. Gorbanev V.A., Ryzhkov A.A.. *Ustroystvo dlya izmereniya pogreshnostey vrashchayushchegosya transformatora* [A device for measuring the errors of a rotating transformer]. Copyright St. USSR in the number 1005245, MKI NC 03/24, declared 18.09.81, publ. 03.15.83, bull. no. 10.
- [19] Safronov V.V. *Sposob izmereniya ugla povorota vala privoda i ustroystvo dlya ego realizatsii* [The method of measuring the angle of rotation of the drive shaft and device for its implementation]. Pat. Russian Federation, no. 2580153, G01B7/30, applicant «TsNIImash», publ. 04.10.2016, bull. no. 10.
- [20] Agapov M.Yu. *Attestatsiya vysokorazryadnykh datchikov ugla* [Certification of High-Angle Angle Sensors]. Materialy dokladov V Konferentsii molodykh uchenykh «Navigatsiya i upravlenie dvizheniem». Sankt-Peterburg, «Kontsern «TsNII «Elektropribor», 15 marta – 30 noyabrya 2011 g. [Navigation and Motion Control Proceedings of the reports of the 5th Young Scientists Conference, St. Petersburg, Concern Central Research Institute Elektropribor, March 15 – November 30, 2011] / Ed. V.G. Peshekhonov. St. Petersburg: «Kontsern TsNII «Elektropribor» [Concern Central Research Institute Elektropribor], 2004, p. 173.

Authors' information

Alekseev Aleksandr Valerievich — Chief department of the «Radiopriborsnab», hit-el@mail.ru

Alekseev Valery Vasilievich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, branch «46CNII» Ministry of Defence, hit-el@mail.ru

Knyazev Roman Igorevich — Cand. Sci. (Tech.), Senior Researcher, branch «46CNII» Ministry of Defence, hit-el@mail.ru

Kotov Yuriy Terentievich — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), kotov46@inbox.ru

Polushkin Vyacheslav Mihailovich — Cand. Sci. (Tech.), Chief laboratory, branch «46CNII» Ministry of Defence, hit-el@mail.ru

Batyrev Yuriy Pavlovich — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), batyrev@mgul.ac.ru

Esakov Vitaliy Anatolievich — Cand. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), esakov@mgul.ac.ru

Received 09.09.2018.

Accepted for publication 26.11.2018.

ВОПРОСЫ НАДЕЖНОСТИ ДАТЧИКО-ПРЕОБРАЗУЮЩЕЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Т.Д. Знаменская

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1
 tzn957@gmail.com

Рассматривается вопрос надежности датчиков-преобразующей аппаратуры (ДПА) для ракетно-космической техники (РКТ). Отмечается принципиальное отличие РКТ от других отраслей техники и влияние этого отличия на подходы при разработке ДПА. Если представить техническую надежность F_t , информационную надежность F_i и информационную ценность P_i в виде векторов в декартовой системе координат, то в идеале — к чему должен стремиться разработчик — все три вектора должны быть единичными и составлять «идеальный кубик». При таком представлении исходная информация — физические явления в теле датчика — имеет единичную техническую и информационную надежность, но нулевую информационную ценность. По пути от нулевой к единичной ценности в каждом шаге преобразования информации теряется и информационная, и техническая надежность, все дальше уходя от идеальной модели. Одним из способов приближения к идеалу является интеллектуализация ДПА. Однако интеллектуализация путем введения в блок ДПА дополнительного устройства — микропроцессора — в области РКТ не является оптимальным решением. Приближением к идеальной модели будет, скорее, интеллектуализация усилителей и преобразователей, некоторое усложнение их принципиальной схемы для выполнения функций встроенного контроля. На основе анализа взаимодействия ДПА с системами управления РКТ предлагается введение «бита информационной надежности» (БИН), подобного биту четности, обеспечивающего достоверность передачи данных. Статья может быть полезна как преподавателям технических дисциплин, связанных с вопросами надежности датчиков-преобразующей аппаратуры, электронной и вычислительной техники, так и разработчикам бортовой аппаратуры РКТ.

Ключевые слова: надежность датчиков-преобразующей аппаратуры, техническая надежность, информационная надежность, интеллектуализация датчиков-преобразующей аппаратуры, бит информационной надежности

Ссылка для цитирования: Знаменская Т.Д. Вопросы надежности датчиков-преобразующей аппаратуры для ракетно-космической техники // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 1. С. 125–133. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-125-133

Надежность — один из важнейших параметров любого изделия, но совершенно особое значение надежность имеет в ракетно-космической технике (РКТ). Это связано и с высочайшими материальными затратами на создание космических аппаратов, и с самыми высокими темпами прогресса, широким использованием инноваций, и, прежде всего, с тем, что от надежности в этой области техники зависит человеческая жизнь.

Надежность — сложное, комплексное понятие, и потому до середины прошлого века надежность оценивалась качественно, терминами «высокая», «низкая», «приемлемая» и т. п. И именно развитие РКТ послужило мощным стимулом развития теории надежности, созданию математического аппарата количественной оценки надежности [1, 2].

Цель работы

Следует отметить принципиальное отличие возможностей обеспечения надежности в РКТ и других отраслях. Любое изделие, единичное или серийное, — автомобиль, здание, станок, прибор — проходит тестирование на надежность после изготовления, и в процессе эксплуатации выявленные недостатки и дефекты исправляются, в конструкцию вносятся изменения для повышения надежно-

сти, затем эксплуатация продолжается, оценивается результат изменений, выявляются новые недостатки и т. д. Идет привычный нам циклический процесс усовершенствования изделия, в том числе и повышения надежности. Важно, что сам объект при этом никуда не исчезает — даже если единичный образец прибора или автомобиля сгорает, или разбивается, объект как серийное изделие остается.

Но ракета изначально создается как объект исчезающий, она не может вернуться для повторных исследований и испытаний, как самолет или автомобиль, она разрушается после старта. И это определяет особый подход к обеспечению надежности РКТ — обеспечивается максимально возможная надежность всех компонентов, узлов и деталей на всех этапах создания изделия в расчете на то, что собранное из надежных частей изделие также будет надежным.

Все возможные источники и причины отказов должны быть выявлены до старта. Даже если отказ и авария происходят при старте, это, в каком-то смысле, «удача» — ведь можно исследовать обломки в поисках причины отказа. А если отказ произошел где-то на орбите или в дальнем космосе — материальных объектов для исследования причины отказа нет.

Именно поэтому в производстве изделий РКТ особое место занимает как обеспечение сбора, сохранения и полноты технологической информации, так и обеспечение сбора, сохранения и полноты информации от датчиков, дающих картину полета ракеты и работы космического аппарата. Исчезающая в полете ракета сохраняется на производстве в виде «фантома», в виртуальном, информационном виде, а ее функционирование в виде информации от датчиков — аналог авиационных «черных ящиков» — в центре управления полетом.

Значение датчиков-преобразующей аппаратуры

Электронные системы управления — наиболее динамично меняющаяся часть изделий РКТ. Если по сути и основе своей конструкции современные ракеты-носители являются развитием семейства Р-7, созданного С.П. Королевым, то системы управления ракетносителями изменились кардинально [3].

По предложению С.П. Королева в 1959 г. в Московском лесотехническом институте для обеспечения потребностей ракетостроения в специалистах по бортовым системам управления был создан факультет электроники и счетно-решающей техники. С того времени принципиально изменилась и элементная база, и возможности вычислений, и сам подход к созданию систем управления — а это повысило качество изделий РКТ. Переход на цифровую систему управления в ракете-носителе «Союз 2.1а» [4], например, повысил ее точность выведения, устойчивость и управляемость, увеличил массу выводимой на орбиту полезной нагрузки на 250–300 килограмм. Но, как и прежде, основой основ в системах управления являются датчики — самый мощный бортовой компьютер становится бесполезным, если датчик выдал неверную информацию. Поэтому надежность датчиков зачастую определяет надежность всего изделия и возможность его функционирования. Требования к надежности датчиков как невосстанавливаемых устройств, исключительно высоки — 0,99...0,9999 [5, 6].

Для надежности датчиков характерна общая для всех технических изделий цикличность. Ученые предлагают принцип работы датчика, затем конструкторы и технологи доводят до совершенства конструкцию и надежность, доводят изделие до уровня «state-of-the-art», максимально высокого, до уровня искусства. Но за это время ученые находят новые принципы, предлагают новые идеи — и цикл конструирования и доводки повторяется заново, на более высоком уровне, идет классическое «развитие по спирали». Поэтому, оценивая достигнутый на текущий мо-

мент уровень надежности, надо представлять и прогнозировать дальнейшее развитие техники и оценивать перспективы [7].

Объекты и методика исследований

Традиционно при обсуждении надежности датчиков-преобразующей аппаратуры принято оценивать надежность с точки зрения техники и технологий, т. е. работоспособности аппаратуры.

Но даже надежно работающая, не выходящая из строя аппаратура с точки зрения информатики может быть ненадежной, выдавать недостоверную, т. е. ненадежную информацию. Например, какая-нибудь наводка, помеха во входной цепи усилителя исказит сигнал датчика — и надежно работающая аппаратура обработает и передаст ненадежную, недостоверную информацию [8].

Если же рассматривать надежность ДПА комплексно, и с точки зрения техники, и с точки зрения информатики, то задача будет формулироваться не только в качестве обеспечения работоспособности аппаратуры, но в более общем виде: надежно получить, надежно передать, надежно сформировать информацию для потребителя (системы управления, как правило). При таком подходе понятие надежности в целом включает в себя и такое важное свойство информации, как достоверность [9].

Проследим путь информации в ДПА, оценивая на каждом этапе как надежность аппаратуры, так и надежность (достоверность) информации, а также такое ее свойство, как ценность. Для удобства и наглядности воспользуемся графическим представлением этих параметров.

Среди множества определений информационной ценности наиболее четко и точно этот параметр описан в [10]: «Свойство информации, определяемое ее пригодностью к практическому использованию в различных областях целенаправленной деятельности человека». По отношению к ДПА можно считать, что пригодным к практическому использованию становится цифровой код на выходе аппаратуры, содержащий значение измеряемого параметра в форме, пригодной для использования в системах управления РКТ.

Согласно ГОСТу Р 27.002–2009 «Надежность в технике. Термины и определения» надежность как параметр напрямую не определяется, характеризуется как «...свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания. Примечание — Данный термин используют только для общего нечисленного описания надежности» [11].

Надежность определяется по номенклатуре свойств (безотказность, долговечность, ремонтпригодность и т. д.) и набору обобщающих коэф-

фициентов, не имеет общепринятого буквенного обозначения. Но если в технической надежности, как в науке, имеется направление математической теории надежности (остальные два направления — статистическая и физическая теории), то в информатике определить математически такие свойства информации, как достоверность (информационная надежность) или полезность (информационная ценность), еще сложнее.

Можно воспользоваться определением информационной надежности, приведенном в [12]: «Информационная надежность характеризует правильность протекания информационных процессов в информационно-вычислительных системах в заданном интервале времени при заданных внешних условиях (в том числе при воздействии помех) в предположении полной исправности аппаратуры». Но и в этом случае надежность напрямую не определяется, а описывается как некая сложная функция от формы представления информации (аналоговая или цифровая), соотношения мощности полезных сигналов и помех, спектра сигналов, времени их действия, способов повышения помехоустойчивости и т. д.

С другой стороны, интуитивно мы понимаем, что идеальная надежность равна единице (или 100 %), как и идеальная ценность. Поэтому логично будет ввести обозначения технической надежности F_t и информационной надежности F_i (от латинского *firmus* — надежный, достоверный), а также информационной ценности P_i (от латинского *pretium* — цена, стоимость).

В идеальном случае для блока ДПА все три параметра, F_t , F_i , и P_i будут равны единице, т. е. блок будет обеспечивать идеальную техническую надежность, идеальную информационную надежность (достоверность), и, как следствие, ценность предоставляемой информации будет равна единице — блок будет предоставлять достоверную информацию по любому запросу потребителя в любой момент времени.

Если отложить эти параметры на пространственной диаграмме [13], например, F_i по оси X , F_t по оси Y и P_i по оси Z , то получим «идеальный кубик», характеризующий идеальный блок ДПА (рис. 1).

Но возможно ли реальное построение такого «идеального кубика»? Проследим шаг за шагом прохождение информации по всем звеньям ДПА и изменение указанных параметров. Рассмотрим достаточно типичный случай: аппаратура, состоящая из пассивного (параметрического) датчика и электронного блока, обеспечивающего цифровой код на выходе.

Информация возникает в теле датчика, как некий физический параметр. Поскольку параметр физический, объективный, заданный самой природой, то его информационная надежность (достоверность) идеальна, равна единице по

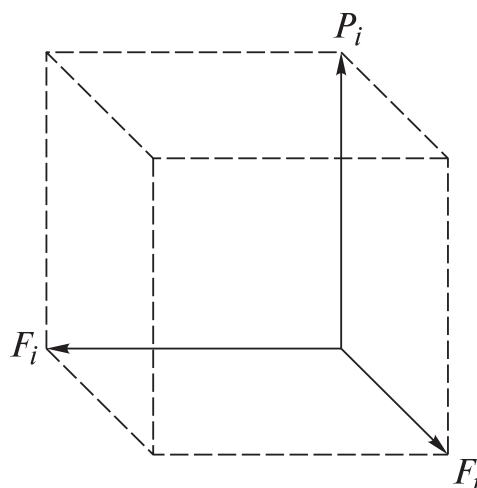


Рис. 1. «Идеальный кубик»
Fig. 1. «Perfect Cube»

определению. Так же идеальна и его техническая надежность — сам по себе датчик не сломается, необходимо некое внешнее воздействие. Так что по осям X и Y , осям надежности, мы можем отложить по единице. Но информационная ценность этого параметра, пока он вещь в себе, внутри датчика, для нас нулевая, поэтому по оси Z , оси ценности, следует отложить ноль. Таким образом, в основании кубика мы видим «квадрат идеальной надежности» (рис. 2, а).

Для того чтобы перевести значение этого параметра в электрическую форму для дальнейшей обработки, следует, например, подать на датчик питание — и при этом на его выходе появится сигнал, по величине которого мы можем судить об измеряемом параметре. Таким образом, ценность информации для нас повышается. Но одновременно снижается техническая и информационная надежность. Техническая снижается по вполне очевидным причинам — любое повышение сложности устройства снижает его надежность. Но снижается и информационная надежность — просто в силу ограниченности наших познаний, поскольку мы интерпретируем физические явления в соответствии с текущим уровнем знаний о мире [14]. Следовательно, уже на первом шаге мы теряем какую-то долю надежности (рис. 2, б).

Зачастую датчик помещается в среду с агрессивными параметрами (температура, радиация, химическое воздействие и т. п.), в которой не может располагаться электронная аппаратура, поэтому сигнал с датчика передается по каналу на вход электронного блока, обычно аналого-цифрового преобразователя (АЦП). Канал передачи также не идеален как по технической надежности, так и по информационной — возможно появление помех и наводок, которые исказят сигнал [15]. Значит и на этом шаге какая-то доля надежности будет потеряна (рис. 2, в).

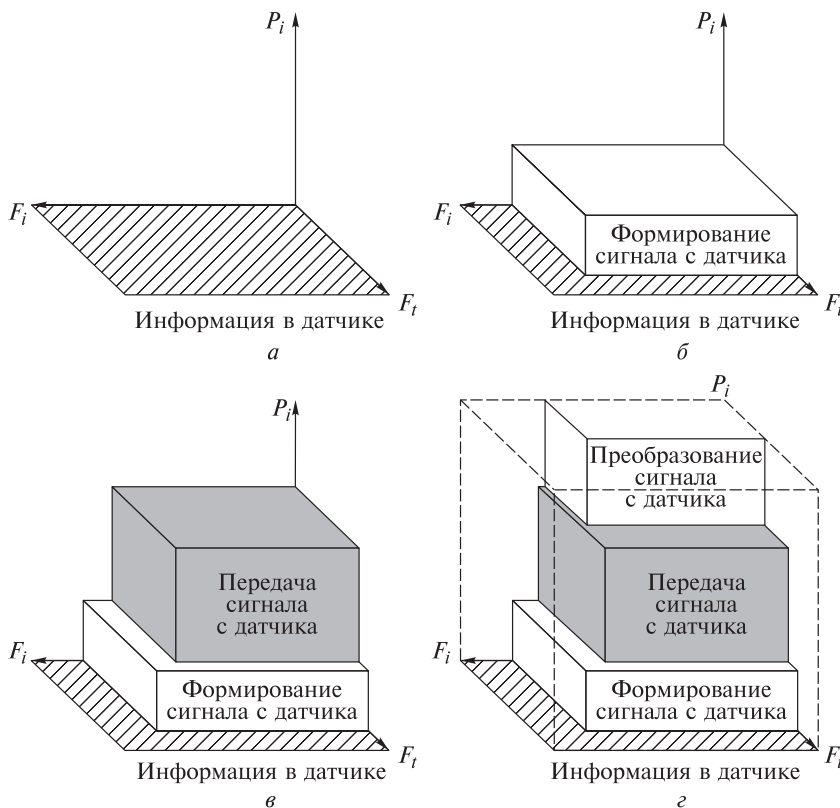


Рис. 2. Заполнение «идеального кубика»
 Fig. 2. Filling the «perfect cube»

На этапе электронной обработки и преобразования сигнала также будут потери как в технической надежности (АЦП — сложное устройство), так и в надежности (достоверности) информационной — преобразование аналогового сигнала в код по самой своей сути связано с дискретизацией и округлением, т. е. неидеально точно. Но ценность цифровой информации для потребителя выше, чем аналоговой. В конце концов, получаем картину, представленную на рис. 2, г, — достигаем полной ценности P_i , но расплачиваемся за это некоторым снижением технической и информационной надежности.

Понятно, что приведенная диаграмма несколько упрощена, шаги по преобразованию сигнала в АЦП, например, могут быть представлены по отдельности, здесь просто иллюстрируется подход к оценке надежности датчиков-преобразующей аппаратуры.

Особенности обеспечения информационной надежности. «Бит информационной надежности»

Методы и подходы к обеспечению технической надежности достаточно хорошо известны и даже гостированы. Вместе с тем, обеспечение информационной надежности — достаточно мо-

лодое направление и цельность методики здесь еще не выработана, хотя важность ее постоянно возрастает по мере усложнения задач, возникающих в РКТ.

Основная особенность информационного сбоя — он оставляет последствия, но не оставляет следов. Если выход их строя аппаратуры имеет материальные проявления — обрывы и короткие замыкания, сгоревшие элементы и т. п., то установить причину, почему погиб исправный космический аппарат, очень сложно.

В этом смысле показательна потеря межпланетной станции «Фобос-Грунт» в 2011 г. Среди причин называли и воздействие мощного радара с поверхности Земли, и воздействие космического излучения — тяжелых заряженных частиц, и пролет в околоземном пространстве астероида 2005YU₅₅, и некое плазменное образование на траектории полета станции, и магнитная аномалия над Бразилией [16, 17]. Но ни один из этих факторов не мог разрушить аппаратуру — была повреждена информация, нарушена ее достоверность.

Похожая ситуация была и с европейской межпланетной станцией «Скиапарелли» [18, 19] в октябре 2016 г., доставленной к Марсу российской ракетой-носителем «Протон-М» и разбившейся при посадке на Марс из-за сбоя в ДПА, которая выдала недостоверную информацию о высоте станции над поверхностью Марса. По заключению

Европейского космического агентства система измерения высоты на высоте 3,7 км над поверхностью Марса в течение одной секунды выдавала отрицательное значение высоты — и система управления отстрелила парашют, включила тормозные двигатели и ряд «наземных» приборов.

Методы обеспечения информационной надежности можно разделить на пассивные и активные. К пассивным можно отнести технические средства защиты от помех и наводок — экранирование, использование фильтров, оптических линий передачи сигнала, устранение кондуктивных связей и т. п. [20, 21]. К активным методам обеспечения информационной надежности следует отнести интеллектуализацию ДПА, введение в ее состав схем и программ контроля информации на достоверность.

В простейшем случае — как рассматривалось выше — ДПА содержит датчик, схемы формирования и передачи сигнала, и АЦП, обеспечивающий цифровой код на выходе. При этом достоверность, информационная надежность, остается как бы вне поля зрения: сигнал получен, преобразован, поставлен на выходе ДПА — а насколько он соответствует объективной действительности, неизвестно. Формально функция ДПА выполнена, а решение о достоверности может (или должно) приниматься системой управления, что требует расхода времени и вычислительной мощности, зачастую ограниченной выполнением других задач. На примере «Скиапарелли» видно, что данные о высоте над поверхностью априорно считались достоверными, система управления не сопоставляла их с косвенными и вычисляемыми данными (возможно, просто не хватало вычислительной мощности), что и привело к аварии.

Следовательно, для повышения информационной надежности в составе ДПА «Скиапарелли» должен был бы присутствовать блок внутреннего контроля, который контролировал бы выходной код АЦП по следующим пунктам:

- исходное значение — может ли при запуске/включении системы измеряемый параметр иметь такое значение (например, нулевое значение высоты при вхождении в атмосферу);
- диапазон значений (например, может ли быть высота отрицательной);
- шаг дискретности — может ли изменение параметра между двумя замерами превышать определенное значение, может ли функция быть не гладкой.

Перечень может быть расширен для конкретных версий ДПА.

Важно отметить, что такой блок внутреннего контроля может управляться центральным бортовым компьютером (или бортовой сетью) — менять настройку контроля параметров в зависимости от времени или этапа выполнения задания.

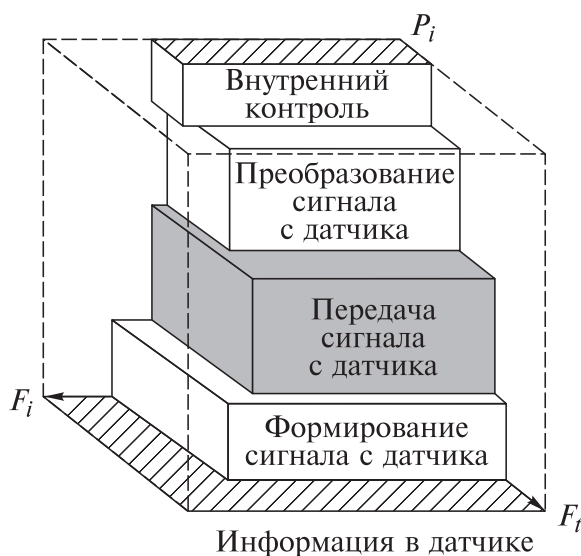


Рис. 3. Заполнение «идеального кубика» с внутренним контролем

Fig. 3. Filling the «perfect cube» with internal control

В ряде случаев, если заранее известно, какой должна быть величина измеряемого параметра, рационально выставлять на выходе ДПА не само значение параметра, а его отклонение от расчетного — это позволит или сократить число разрядов в коде, или повысить точность передаваемого параметра.

Рассмотрим, что дает в формировании «идеального кубика» ДПА введение внутреннего контроля (рис. 3). Шаг за шагом, слой за слоем, двигаясь от внутренней информации в датчике к получению цифрового кода, «товара с единичной ценностью», мы непрерывно теряли и техническую, и информационную надежность. Добавив контроль, мы потеряли еще какую-то долю технической надежности — любое усложнение надежность снижает, но зато именно на этом шаге мы получили повышение информационной надежности.

На пути от заштрихованной нижней грани кубика к верхней (которая тоже для наглядности заштрихована) мы впервые смогли получить увеличение площади верхнего слоя, уменьшили отступление от идеала.

Но вполне очевидно, что это увеличение ограничено — увеличивая сложность обработки исходной информации в блоке контроля и увеличивая информационную надежность F_i , мы тем самым увеличиваем его сложность, следовательно, уменьшаем техническую надежность F_t . Одновременное увеличение параметров по осям X и Y невозможно.

В принципе, такой контроль может реализовываться как аппаратно-программными (микропроцессор), так и схемотехническими средствами, в зависимости от конкретного случая.

Обычно, говоря об интеллектуальной датчиков-преобразующей аппаратуре, подразумевают, что в ее состав включается дополнительный блок — микропроцессор. Но, как показано выше, включение дополнительного блока в состав ДПА не всегда повышает качество его работы. Как правило, возможности стандартного микропроцессора явно превышают потребности контроля состояния и функционирования ДПА, а его излишняя сложность снижает общую техническую надежность изделия.

Разработанные для производственных, транспортных, бытовых и прочих целей стандарты, интерфейсы и протоколы интеллектуальных датчиков включают много избыточной информации и избыточных ресурсов, рассчитанных на универсальность и дальнейшее расширение сферы применения. Но для РКТ, а тем более для военного применения, любое неоправданное усложнение снижает надежность изделия в целом.

Поэтому оптимальным путем для приближения датчиков-преобразующей аппаратуры к идеальному выполнению своих функций будет не введение в ее состав дополнительного блока — микропроцессора, а интеллектуализация основных схем — как правило, усилителя и аналого-цифрового преобразователя. Самоконтроль и контроль небольшого набора значений параметров может быть реализован незначительным усложнением принципиальной схемы встроеного устройства контроля, по сравнению с дополнительным микропроцессором.

Важно, чтобы результат такой проверки не оставался «вещью в себе» — должен формироваться и вместе с кодом параметра выставляться на выходе ДПА «бит информационной надежности» (БИН), знак того, что данные имеют высокую информационную надежность. Значение этого бита должно быть равно логическому уровню «1», высокому уровню напряжения, — в этом случае аварийная ситуация, отключение питания, потеря датчика автоматически переведут его в состояние «0».

Мы настолько привыкли к «биту четности», обеспечивающему достоверность передачи данных в сетях и внутри компьютеров, что многие даже забыли о его существовании [22]. Вместе с тем, отказ от этого бита привел бы к тотальным сбоям и искажению информации. Таким же значимым может быть и введение «бита информационной надежности».

Выводы

В РКТ введение «бита информационной надежности» позволило бы не только повысить надежность изделий, но и сэкономить вычислительные ресурсы систем управления. Его наличие позволило бы принимать для дальнейшей

обработки данные, как надежные и достоверные, а отсутствие — запускать процедуры контроля, проверки и косвенных вычислений параметров, знать, где возник сбой, использовать резервные возможности.

Введение в ДПА схем формирования «бита информационной надежности» позволило бы осуществить распределение вычислительного процесса, снижающее вычислительную нагрузку на центральную систему управления, что повысило бы надежность функционирования изделия в целом.

Следует также отметить, что в авиации, где летательным аппаратом управляет не бортовой компьютер, а человек, «бит информационной надежности» может оказаться еще важнее, чем в РКТ. Расследования авиакатастроф показывают, что зачастую причинами происшествий становятся вполне естественные человеческие эмоции пилотов, которые обучены и привыкли доверять показаниям приборов больше, чем самим себе. Бывали даже случаи, когда от самолета отрывался двигатель, а пилот, теряя драгоценные мгновения, продолжал пытаться управлять уже несуществующим двигателем из-за неверных показаний датчика [23], или на высоте пяти тысяч метров пытался уклониться от «опасной близости земли». В этом случае «бит информационной надежности» сразу предупредит пилота о недостоверности информации, и немедленно, без потери времени, направит его действия на поиск правильного решения.

Список литературы

- [1] Марченко Б.И. Обеспечение надежности технических систем. СПб.: Нестор-История, 2016. 88 с.
- [2] Rayl A.J.S. NASA Engineers and Scientists-Transforming Dreams Into Reality // NASA Engineers and Scientists J., 2017, v. 50, pp. 17–21.
- [3] Куренков В.И., Волоцун В.В. Надежность изделий и систем ракетно-космической техники [Электронный курс лекций]. Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2010. 116 с. URL: <https://www.twirpx.com/file/1931922/> (дата обращения 15.07.2018).
- [4] Ракета-носитель «Союз 2.1а»: технические характеристики. URL: <https://ria.ru/spravka/20160427/1420488032.html> (дата обращения 06.07.2018).
- [5] Богущ М.В. Оценка механической надежности чувствительных элементов пьезоэлектрических датчиков // Датчики и системы, 2008. № 3. С. 2–9.
- [6] Sauser B. Nanosensors in Space // Technology Review, 2007, July, pp. 7–12.
- [7] Кругликов А.Г. Системный анализ научно-технических нововведений. М.: Наука, 1991. 120 с.
- [8] Дал У., Дейкстра Э., Хоор К. Структурное программирование. М.: Мир, 1975. С. 7–97.
- [9] Основные свойства информации – Достоверность информации. URL: <https://studfiles.net/preview/5577694/> (дата обращения 06.07.2018).
- [10] Домарев В.В. Безопасность информационных технологий. Системный подход. Киев: ТИД «Диасофт», 2004. 992 с.

- [11] ГОСТ Р 27.002–2009. Надежность в технике. Термины и определения. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200077768> (дата обращения 10.05.2018).
- [12] Чернявский Е.А., Недосекин Д.Д., Алексеев В.В. Измерительно-вычислительные средства автоматизации производственных процессов. Л.: Энергоатомиздат, 1989. 272 с.
- [13] ГОСТ 2.317–69. ЕСКД. Аксонометрические проекции. URL: <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/4/4589/index.htm> (дата обращения 15.07.2018).
- [14] Виглеб Г. Датчики. М.: Мир, 1989. 196 с.
- [15] Помехи и шумы в каналах передачи информации. URL: https://studme.org/194638/tehnika/pomehi_shumy_kanalakh_peredachi_informatsii (дата обращения 15.07.2018).
- [16] Основные положения Заключения Межведомственной комиссии по анализу причин нештатной ситуации, возникшей в процессе проведения летных испытаний космического аппарата «Фобос-Грунт». URL: <http://www.roscosmos.ru/18126/> (дата обращения 15.07.2018).
- [17] Кубарев .В. Что погубило «Фобос-Грунт»? // Пилотируемые полеты в космос, 2014. № 2 (11). С. 67–84.
- [18] Роскосмос и ЕКА. Специалисты расшифровывают телеметрию «Скиапарелли». URL: <http://www.roscosmos.ru/22770/> (дата обращения 15.07.2018).
- [19] Марсианский модуль Schiaparelli разбился из-за ошибки в измерительном блоке. Сообщение ТАСС. URL: <http://tass.ru/kosmos/3808176> (дата обращения 15.07.2018).
- [20] Денисенко В., Халявко А. Защита от помех датчиков и соединительных проводов систем промышленной автоматизации // Современные технологии автоматизации, 2001. № 1. С. 68–75.
- [21] Blevis В.С. Space Technology // The Canadian Encyclopedia, 2012. February, 5. URL: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/space-technology> (дата обращения 17.07.2018).
- [22] Генри С. Уоррен, мл. Алгоритмические трюки для программистов. Гл. 5: Подсчет битов. М.: Вильямс, 2007. С. 288.
- [23] Авиакатастрофа в Амстердаме 4 октября 1992 года. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/tuwiki/1718254> (дата обращения 15.07.2018).

Сведения об авторе

Знаменская Татьяна Дмитриевна — канд. техн. наук, доцент кафедры «Информационно-измерительные системы и технологии приборостроения» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tzn957@gmail.com

Поступила в редакцию 29.08.2018.
Принята к публикации 30.11.2018.

RELIABILITY QUESTIONS OF SENSOR-TRANSFORMING EQUIPMENT FOR SPACE ROCKET ENGINEERING

T.D. Znamenskaya

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

tzn957@gmail.com

The current article explores issues related to reliability of transducers, used in missile and space equipment (MSE). The article notices the fundamental difference between the MSE and other branches of technologies, and the influence of this difference on approaches to developing transducers. If to provide technical reliability of F_i , information reliability of F_i and information value of P_i in the form of vectors in a Cartesian coordinate system, then ideally — at what the developer shall aim — all three vectors shall be single and make «an ideal cube». In case of such representation the initial information — the physical phenomena in a sensor body — has single technical and information reliability, but zero information value. As the value progresses from zero to one, each stage of the conversion process results in a loss of informational as well as technical reliability, moving away from the ideal model. One of the solutions that allow approaching the ideal model is intellectualization of transducers. However, intellectualization by an insertion of an additional device, a microprocessor, in the transducers system is a suboptimal solution in the field of the MSE. More likely, intellectualization of enhancers and converters, with a possible elaboration of their fundamental arrangements to accommodate the functions of inbuilt control. Based on analysis of interaction between transducers and the aerospace control systems, the proposal is made to introduce an Informational Reliability Bit, similar to a parity bit, which ensures validity of the data transferring. This article may be useful in teaching technical disciplines related to issues of reliability of analog-to-digital converters and computers, as well as in developing of vehicle-borne equipment for MSE.

Keywords: reliability of transducers, technical reliability, informational reliability, intellectualization of transducers, informational reliability bit

Suggested citation: Znamenskaya T.D. *Voprosy nadezhnosti datchiko-preobrazuyushchey apparatury dlya raketno-kosmicheskoy tekhniki* [Reliability questions of sensor-transforming equipment for space rocket engineering]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 1, pp. 125–133. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-1-125-133

References

- [1] Marchenko B.I. *Obespechenie nadezhnosti tekhnicheskikh sistem* [Ensuring the reliability of technical systems]. Saint Petersburg: Nestor-Istoriya, 2016, 88 p.
- [2] Rayl A.J.S. NASA Engineers and Scientists-Transforming Dreams Into Reality // *NASA Engineers and Scientists J.* 2017, v. 50, pp. 17–21.
- [3] Kurenkov V.I., Volotsuev V.V. [Reliability of products and systems of rocket and space technology. Electronic course of lectures]. Samara: Samara State Aerospace University, 2010. 116 p. URL: <https://www.twirpx.com/file/1931922/> (accessed 15.07.2018).
- [4] *Raketa-nositel' «Soyuz 2.1a»: tekhnicheskie kharakteristiki* [Soyuz 2.1a Booster: Technical Specifications]. URL: <https://ria.ru/spravka/20160427/1420488032.html> (accessed 06.07.2018).
- [5] Bogush M.V. *Otsenka mekhanicheskoy nadezhnosti chuvstvitel'nykh elementov p'ezoelektricheskikh datchikov* [Evaluation of the mechanical reliability of sensitive elements of piezoelectric sensors]. *Sensors and systems*, 2008, no. 3, pp. 2–9.
- [6] Sauser B. Nanosensors in Space. *Technology Review*, 2007, July, pp. 7–12.
- [7] Kruglikov A.G. *Sistemnyy analiz nauchno-tekhnicheskikh novovvedeniy* [System analysis of scientific and technological innovations]. Moscow: Nauka, 1991, 120 p.
- [8] Dal U., Deykstra E., Khoo K. *Strukturnoe programmirovaniye* [Structural programming]. Moscow: Mir, 1975, pp. 7–97.
- [9] *Osnovnye svoystva informatsii – Dostovernost' informatsii* [The main properties of information – Reliability of information]. URL: <https://studfiles.net/preview/5577694/> (accessed 06.07.2018).
- [10] Domarev V.V. *Bezopasnost' informatsionnykh tekhnologiy. Sistemnyy podkhod* [Security information technology. Systems approach]. Kiev: TID «Diasoft», 2004, 992 p.
- [11] *GOST R 27.002–2009 Nadezhnost' v tekhnike. Terminy i opredeleniya* [GOST R 27.002–2009 Reliability in engineering. Terms and Definitions]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200077768> (accessed 10.05.2018).
- [12] Chernyavskiy E.A., Nedosekin D.D., Alekseev V.V. *Izmeritel'no-vychislitel'nye sredstva avtomatizatsii proizvodstvennykh protsessov* [Measuring and computing means of automation of production processes]. Leningrad: Energoatomizdat, 1989, 272 p.
- [13] *GOST 2.317–69* ESKD, Aksonometrichesknie proektsii* [GOST 2.317–69* ESKD, Axonometric projections]. URL: <http://www.norm-load.ru/SNiP/Data1/4/4589/index.htm> (accessed 15.07.2018).
- [14] Vigleb G. *Datchiki* [Sensors]. Moscow: Mir, 1989, 196 p.
- [15] *Pomekhi i shumy v kanalakh peredachi informatsii* [Interference and noise in the transmission channels of information]. URL: https://studme.org/194638/tehnika/pomehi_shumy_kanalakh_peredachi_informatsii (accessed 15.07.2018).
- [16] *Osnovnye polozeniya Zaklyucheniya Mezhvedomstvennoy komissii po analizu prichin neshatnoy situatsii, voznikshey v protsesse provedeniya letnykh ispytaniy kosmicheskogo apparata «Fobos-Grunt»* [Main provisions of the Opinion of the Interdepartmental Commission on the analysis of the causes of the emergency situation that arose during the flight tests of the Phobos-Grunt spacecraft]. URL: <http://www.roscosmos.ru/18126/> (accessed 15.07.2018).
- [17] Kubarev Yu.V. *Chto pogubilo «Fobos-Grunt»? [What killed Phobos-Grunt?] Pilotiruemye polety v kosmos [Piloted flights into space]*, 2014, no. 2 (11), pp. 67–84.

- [18] *Roskosmos i EKA. Spetsialisty rasshifrovuyut teletriyu «Schiaparelli»* [Roscosmos and ESA. Experts decipher Schiaparelli telemetry]. URL: <http://www.roskosmos.ru/22770/> (accessed 15.07.2018).
- [19] *Marsianskiy modul' Schiaparelli razbilsya iz-za oshibki v izmeritel'nom bloke. Soobshchenie TASS* [The Martian module Schiaparelli crashed due to an error in the measuring unit. TASS message]. URL: <http://tass.ru/kosmos/3808176> (accessed 15.07.2018).
- [20] Denisenko V., Khalyavko A. *Zashchita ot pomekh datchikov i soedinitel'nykh provodov sistem promyshlennoy avtomatizatsii* [Protection against interference of sensors and connecting wires of industrial automation systems]. *Modern Automation Technologies*, 2001, no. 1, pp. 68–75.
- [21] Blevins B.C. *Space Technology* // *The Canadian Encyclopedia*, 2012. February, 5. URL: <https://www.thecanadianencyclopedia.ca/en/article/space-technology> (accessed 17.07.2018).
- [22] Henry S. Warren, Jr. *Algoritmicheskie tryuki dlya programmistov. Gl. 5. Podschet bitov* [Algorithmic tricks for programmers. Ch. 5. Counting bits]. Moscow: Williams, 2007, p. 288.
- [23] *Aviakatastrofa v Amsterdame 4 oktyabrya 1992 goda* [Plane crash in Amsterdam on October 4, 1992]. URL: <http://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/1718254> (accessed 15.07.2018).

Author's information

Znamenskaya Tat'yana Dmitrievna — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor at the Department of Information Measuring Systems and Instrumentation Technology of the BMSTU (Mytishchi branch), tzn957@gmail.com

Received 29.08.2018.

Accepted for publication 30.11.2018.

ПАМЯТИ А.С. ИСАЕВА, АКАДЕМИКА РАН, ПОЧЕТНОГО ДОКТОРА МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА ЛЕСА



Александр Сергеевич Исаев — крупный государственный деятель и ученый-лесовод мирового уровня, доктор биологических наук, профессор, действительный член АН СССР (с 1991 года академик РАН), основатель и первый директор Центра по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН (ЦЭПЛ РАН). Трудовая деятельность А.С. Исаева отмечена двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом Октябрьской революции, орденом Дружбы и орденом Почета.

Работы А.С. Исаева получили широкое признание зарубежных и отечественных научных сообществ. Автор более 350 публикаций, в том числе более 20 монографий, по лесной энтомологии и экологии. Награжден Золотой медалью и премией Дж. Варли Международного союза лесных исследовательских организаций (IUFRO), Золотой медалью и именной премией В.Н. Сукачёва РАН, Почетным дипломом Программы ООН по окружающей среде (UNEP), серебряной медалью и дипломом академика П.Л. Капицы, Премией Правительства Российской Федерации в области науки и техники. Был избран иностранным членом Болгарской академии наук, Почетным членом Американского общества лесоводов, Почетным доктором Московского государственного университета леса.

Александр Сергеевич внес значительный вклад в развитие методов лесопатологического мониторинга, оценки и прогнозирования экологического состояния и ресурсного потенциала лесов, разработку программ и проектов по оценке и сохранению биоразнообразия лесных экосистем. Он развил представление о стабильности лесных экосистем, глубоко исследовал механизм устойчивости дерева к насекомым-фитофагам, определил роль веществ химической информации в системе консортивных отношений древесных растений и насекомых-вредителей. Общебиологическое значение имеет феноменологическая теория устойчивости лесных биогеоценозов к насекомым-вредителям. Прикладным аспектом этой теории является разработка математических моделей динамики численности различных групп лесных насекомых.

Александр Сергеевич Исаев был организатором и научным руководителем программ и проектов аэрокосмического мониторинга и картографирования лесов России, возглавил научные исследования по экологии лесов, наземному и дистанционному мониторингу лесных систем, сохранению биологического разнообразия лесов и лесозащите, использованию аэрокосмической информации для изучения роли лесов в глобальных биосферных процессах. Для разработок стратегии устойчивого лесопользования, лесопользования и мониторинга лесов под его руководством создана и используется геоинформационная система, содержащая обширную информацию по лесам России и программное обеспечение для сопряженной обработки фактологической и картографической информации и космических изображений.

Александр Сергеевич Исаев родился 26 октября 1931 года в Москве. После окончания Ленинградской лесотехнической академии начал трудовую деятельность в лесоустроительной экспедиции В/О «Леспроект». Работа в лесостроительстве вызвала его интерес к лесной науке, и в 1956 году поступил на заочное отделение аспирантуры Всесоюзного НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства (ВНИИЛМ). В 1960 году после защиты кандидатской диссертации он был приглашен на работу в Институт леса и древесины Сибирского отделения АН СССР, который возглавил в 1977 году,

в 1979 году назначен Председателем Красноярского научного центра СО АН СССР. Занимая высокие посты до 1988 года, Александр Сергеевич проделал огромную работу по открытию новых академических подразделений, развитию инфраструктуры Красноярского академгородка. В этот период Исаев дважды избирался в Верховный Совет СССР, являлся членом депутатской комиссии по экологии и природопользованию Верховного Совета СССР. Он активно отстаивал статус лесов страны как национального достояния, имеющего огромное значение в материальном и духовном развитии общества.

Высочайший профессиональный уровень, опыт организационной и общественной работы Александра Сергеевича Исаева были востребованы на государственном уровне, в 1988 году он был назначен Председателем Государственного комитета по лесу СССР (Госкомлес СССР). За непродолжительный период работы (1988–1991 гг.) Госкомлес СССР стал не только органом государственного управления, но и центром научного обоснования систем лесохозяйственной деятельности в стране. В эти годы более чем вдвое увеличилось финансирование отраслевой науки, сформировался Всесоюзный научно-исследовательский и информационный центр по лесным ресурсам, создана Международная ассоциация исследований бореальных лесов (IBFRA), организован Международный институт леса (МИЛ), учредителем которого стал МГУЛ, в составе Отделения Всемирной лаборатории ООН в СССР. После ликвидации Госкомлеса СССР возглавил организованный

им Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН и до последних дней был его научным руководителем.

Александр Сергеевич Исаев относится к созвездию отечественных ученых мирового уровня. На всех должностях он постоянно отстаивал позиции по защите Русского леса, по сохранению его биоразнообразия, бережному отношению к лесу, ценнейшему природному богатству человечества, и всегда умел находить весомые аргументы, которые невозможно было оспорить чиновникам. Так было при подготовке Лесного кодекса 2007 года и при принятии решений в Совете по развитию лесного комплекса при Правительстве РФ, членом которого А.С. Исаев был без малого 10 лет, начиная с 2007 года.

Несмотря на серьезность работы и занимаемые им высокие государственные должности, Александр Сергеевич оставался человеком с тонким чувством юмора, великолепным рассказчиком, общение с которым всегда вызывало восторг и эмоциональный прилив, как будто разговариваешь не с великим ученым, а с близким, родным человеком. Его можно было слушать часами, удивляясь энциклопедичности ума, владению словом, умению вовлекать собеседника в обсуждение серьезнейших вопросов, один из которых — глобальное и «планетарное» явление, имя которому ЛЕС.

Александр Сергеевич был талантливым учителем, замечательным организатором, успешно развивавшим российскую школу лесной науки, Интеллектом с большой буквы, великодушным, добрым и отзывчивым человеком.

В.Г. Санаев, директор МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Мытищинский филиал), проф., д-р техн. наук

А.Н. Обливин, советник ректората МГТУ им. Н.Э. Баумана,
академик РАЕН, д-р техн. наук

Н.А. Моисеев, член Ученого совета МГТУ им. Н.Э. Баумана
(Мытищинский филиал), академик РАН