

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 5 ' 2018 Том 22

## 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 Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Забродина

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 25.10.2018.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 17,0 п. л.

Цена свободная

# LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal  
№ 5 ' 2018 Vol. 22

## 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 L.V. Zabrodina

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version 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 25.10.2018.  
Circulation 600 copies  
Order №  
Volume 17,0 p. p.  
Price free

# СОДЕРЖАНИЕ

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

**Иванкин А.Н., Васильев С.Б., Бабурина М.И., Вострикова Н.Л.,  
Козырев И.В., Миттельштейн Т.М., Мишугина Т.В.**

О механизме биостимулирования и активации развития растительных культур ..... 5

**Новиков А.И., Косиченко Н.Е.**

Тенденции развития процессов аэросева семян в лесохозяйственном производстве ..... 14

**Попкова И.А., Петрик В.В., Васильева Н.Н.**

Сезонное развитие и качество семян некоторых видов семейства Aceraceae Juss. .... 26

**Штапова Н.Н., Петров А.В.**

Фауна короедов (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Теллермановского опытного лесничества  
Воронежской области ..... 34

## ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

**Леонова В.А., Щербакова Е.В.**

Исследование границ контуров и территории усадьбы «Камшиловка» наземным и воздушным способами ..... 42

**Санаева Т.С.**

Этнографический парк «Кочевник» как пример культурно-познавательного парка ..... 49

## ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

**Заикин А.Н., Никитин В.В., Щербаков Е.Н., Муковнина М.В.**

Методика снижения объемов техногенного воздействия лесосечных машин на лесные экосистемы  
на основе математического моделирования режимов их работы ..... 54

**Лозовецкий В.В., Константинов В.Ф., Черкина В.М.**

Защита окружающей среды от утечек рабочей жидкости при разрыве рукавов высокого давления гидропривода  
манипуляторов транспортных средств ..... 62

**Бурмистров Д.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Могутнов Р.В., Абасов М.А.**

Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог  
и ее экономико-математическое развитие ..... 69

**Лаптев А.В., Матросов А.В.**

Обоснование конфигурации и геометрических размеров рабочей зоны колесного харвестера ..... 77

## ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

**Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Гречаная Н.Н.**

Информационно-измерительные системы мониторинга технического состояния строительных конструкций ..... 86

**Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б.**

Определение физических показателей лигноуглеводного комплекса древесинного вещества ..... 94

**Чубинский А.Н., Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Русакова Л.Н.**

Исследование свойств модифицированных карбамидоформальдегидных клеев для изготовления фанеры ..... 103

**Мартыанова О.С., Хомутильников Н.В., Куркова Е.В.,**

**Иванов Г.Е., Говязин И.О., Кононов Г.Н.**  
Использование синтетических волокон для изготовления специальных видов бумаги ..... 113

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

**Полещук О.М.**

Повышение эффективности оценки параметров технических систем  
на основе учета неопределенности разных типов ..... 121

## НАУКА В ВУЗЕ

**Шалаев В.С., Рыкунин С.Н., Федотов Г.Н.**

Публикационная активность как индикатор результативности научно-исследовательских работ.  
Анализ и перспективы ..... 129

# CONTENTS

## BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

**Ivankin A.N., Vasil'ev S.B., Baburina M.I., Vostrikova N.L.,  
Kozyrev I.V., Mittelshtein T.M., Mishugina T.V.**

About the mechanism of biosimulation and activating the development of vegetable crops ..... 5

**Novikov A.I., Kosichenko N.E.**

Trends of aerial seeding in forestry..... 14

**Popkova I.A., Petrik V.V., Vasil'eva N.N.**

Seasonal development and quality of seeds of the family Aceraceae Juss. .... 26

**Shtapova N.N., Petrov A.V.**

Fauna of bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Tellermanovsky forest field station of the Voronezh region ..... 34

## LANDSCAPE ARCHITECTURE

**Leonova V.A., Scherbakova E.V.**

Research of border contours of the estate «Kamshilovka» by land and air ways ..... 42

**Sanaeva T.S.**

Ethnographic park «Kochevnik» as example of cultural and educational park..... 49

## FOREST ENGINEERING

**Zaikin A.N., Nikitin V.V., Shcherbakov E.N., Mukovnina M.V.**

Method of decrease of forest machinery technogenic impact on forest ecosystems based on operating modes simulating ..... 54

**Lozovetskiy V.V., Konstantinov V.F., Cherkina V.M.**

Environmental protection against liquid leakage in the rupture of high pressure hoses of hydraulic vehicle manipulators..... 62

**Burmistrov D.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Mogutnov R.V., Abasov M.A.**

The working hypothesis of logging roads rhythmic construction and its mathematical development ..... 69

**Laptev A.V., Matrosov A.V.**

Rationale for configuration and geometric dimensions of wheeled harvester working zone..... 77

## CHEMICAL PROCESSING OF WOOD

**Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Grechanaya N.N.**

Information-measuring systems of technical condition of construction structures monitoring ..... 86

**Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B.**

Determination of physical parameters of ligno-carbon wood substance complex..... 94

**Chubinskiy A.N., Rusakov D.S., Varankina G.S., Rusakova L.N.**

Properties study of modified urea-formaldehyde glues for plywood production ..... 103

**Mart'yanova O.S., Khomutinnikov N.V., Kurkova E.V.,**

**Ivanov G.E., Govyazin I.O., Kononov G.N.**

Use of synthetic fibers for special types of paper production ..... 113

## MATH MODELING

**Poleshchuk O.M.**

Improving the efficiency of evaluation parameters in technical systems under conditions of different types uncertainty..... 121

## SCIENCE AT HIGHER EDUCATION INSTITUTION

**Shalaev V.S., Rykunin S.N., Fedotov G.N.**

Publication activity as effectiveness of scientific research indicator.

Analysis and prospects..... 129

## О МЕХАНИЗМЕ БИОСТИМУЛИРОВАНИЯ И АКТИВАЦИИ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНЫХ КУЛЬТУР

А.Н. Иванкин<sup>1</sup>, С.Б. Васильев<sup>1</sup>, М.И. Бабурина<sup>2</sup>, Н.Л. Вострикова<sup>2</sup>,  
И.В. Козырев<sup>2</sup>, Т.М. Миттельштейн<sup>2</sup>, Т.В. Мишугина<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26

aivankin@inbox.ru

Изучен процесс стимулирования развития семян сельскохозяйственных культур, в качестве модельных объектов взяты быстро прорастающие семена фасоли и горчицы. Стимулирование осуществляли в присутствии комплексных органических биостимуляторов на основе ферментативного и кислотного гидролизатов животного сырья, а также известного зарубежного стимулятора «Аминозол» (Германия). Проведено сравнение стимуляторов. Ферментативный гидролизат представлял собой пептидно-аминокислотную смесь с содержанием свободных аминокислот, %: Иле 0,5; Лей 1,7; Лиз 1,4; Мет 0,5; Цис 0,4; Фен 0,7; Тир 1,2; Тре 0,4; Трп 1,2; Вал 1,5; Ала 0,8; Арг 2,6; Асп 1,3; Гис 1,3; Гли 0,4; Глу 7,4; Про 3,2; Сер 0,6. Количество свободных аминокислот в кислотном гидролизате достигало 90 %, в том числе, %: Иле 4,7; Лей 5,5; Лиз 4,8; Мет 1,6; Цис 0,01; Фен 2,6; Тир 4,9; Тре 0,8; Трп 0,1; Вал 5,2; Ала 7,2; Арг 1,5; Асп 21,3; Гис 12,3; Гли 9,8; Глу 2,5; Про 3,8; Сер 1,4. Стимуляторы включали, г/100 г: гидролизат — 5; янтарную кислоту — 0,3; мочевины — 3; KNO<sub>3</sub> — 3; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> — 3; MgSO<sub>4</sub> — 4; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> — 6; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> — 1; Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> — 0,1; MnSO<sub>4</sub> — 0,002; ZnSO<sub>4</sub> — 0,5; CuSO<sub>4</sub> — 0,5. В «Аминозоле» количество свободных аминокислот, %: Иле 1,1; Лей 0,2; Лиз 0,3; Мет 0,2; Цис 0,5; Фен 0,7; Тир 0,3; Тре 0,02; Трп 0,1; Вал 1,2; Ала 1,4; Арг 1,3; Асп 0,9; Гис 0,15; Гли 0,6; Глу 0,7; Про 0,6; Сер 0,4. Исследован процесс набухания семян в среде стимуляторов. Существенных различий в скорости гидратации семян не установлено. Проведена оценка изменения уровней амилазной активности при обработке семян в течение первых 72 ч развития и отмечен рост амилазной активности более чем в 5 раз. Установлено выраженное влияние использованных стимуляторов на скорость прорастания семян растений и дальнейшее формирование зеленой биомассы.

**Ключевые слова:** стимуляторы роста растений, кислотный гидролизат КГ, ферментативный гидролизат КФ, стимулятор «Аминозол»

**Ссылка для цитирования:** Иванкин А.Н., Васильев С.Б., Бабурина М.И., Вострикова Н.Л., Козырев И.В., Миттельштейн Т.М., Мишугина Т.В. О механизме биостимулирования и активации развития растительных культур // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-5-13

Стимулирование развития и роста биологических объектов является сегодня магистральным направлением сельскохозяйственного производства. Современные технологии ускорения роста биомассы растительного, микробного или животного происхождения, как правило, построены на применении специальных стимулирующих регуляторов [1, 2].

Поскольку скорость роста зеленой биомассы в южных странах во много раз выше, чем в большинстве северных регионов России, задача ускорения развития и роста растений становится важнейшим технико-экономическим показателем сельскохозяйственной деятельности [3, 4]. Вопрос стимулирования роста растений достаточно сложен и включает в себя несколько аспектов.

Прежде всего, растениям необходимо комплексное и полноценное питание. Как правило, это достигается применением различных удобрений, в качестве которых традиционно используют смеси неорганических солей, содержащих жизненно важные для развития растений катионы и анионы [5–7]. Высокой питательной эффективностью обладают некоторые органические

соединения, например мочевины и производные гуанидина, а также различные органические удобрения, получаемые в результате естественного или принудительного компостирования природного сырья [8–10].

Помимо основных факторов развития (температуры, освещенности, спектрального состава естественного облучения, влажности и pH среды, газового состава окружающей атмосферы), на рост растений существенно влияет микробиологический статус развития поверхностных культур. Известно, что вездесущее распространение микрофлоры может как подавлять, так и стимулировать рост биологических объектов [8, 11]. Например, интенсивное развитие группы клубеньковых бактерий, являющихся нитрифицирующими микробными объектами, способствует прямому превращению азота воздуха в связанный азот, соединения которого растение может активно использовать в своих внутренних биохимических процессах [12]. Микрофлора может воздействовать на метаболизм кислорода и углекислого газа, а также на процесс активного или пассивного фотосинтеза. Влияние микрофлоры



ры может быть положительным и способствовать развитию полезной растительной культуры (в простейшем варианте это — усвоение активных питательных веществ, или компонентов-активаторов). В этом случае достаточно эффективно могут проявлять себя вещества, необходимые для роста микроорганизмов, в частности аминокислоты, некоторые низкие жирные кислоты, простейшие сахара — т. е. те вещества, из которых микробы, влияющие на рост растения, строят свою внутреннюю биомассу — белки, жиры, углеводы и полинуклеотиды [13, 14].

Химические и биохимические вещества, стимулирующие рост растений, в зависимости от механизма действия подразделяют на три группы. Первая группа — индуцирующие вещества, наличие которых в биологической системе может запускать биохимические процессы, обычно не протекающие или протекающие очень медленно в отсутствие индуктора. Вторая группа — стимуляторы, которые активируют и в значительной степени усиливают уже протекающие биопроцессы. В большинстве случаев четкого разделения этих функций нет и, как правило, оба механизма могут проявляться одновременно. Третья группа — вещества, которые могут служить питательными и конструкционными элементами при построении структурных органов биообъекта.

В связи с масштабным применением химии в современном интенсивном сельскохозяйственном производстве очень важны экологические аспекты данного производства. Большую роль здесь играют регуляторы роста растений. Это должны быть малотоксичные соединения без выраженной видовой чувствительности, без кумулятивных свойств (т. е. возможности накопления в биообъектах в течение длительного срока применения), но при этом обладающие широким спектром биологического действия. Современная наука создает регуляторы нового поколения, которые могут действовать на растения в очень малых дозах — всего несколько миллиграммов на 1 га площади. Низкая концентрация применяемых стимуляторов является важнейшим фактором защиты окружающей среды.

При большом разнообразии существующих природных и синтетических регуляторов роста механизм действия многих из них до конца не изучен. Необходимы дальнейшие исследования с целью поиска путей повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, что обуславливает актуальность настоящей работы.

В литературе имеется значительный массив данных по разработке и применению стимуляторов роста растений [15–17]. Создание эффективных биостимуляторов стало новым направлением в области разработки препаратов для регуляции роста и защиты растений. Высокая физиологи-

ческая активность, положительное влияние на выход получаемой продукции, доступность природного сырья, в качестве которого могут быть использованы различные источники животного, растительного и морского происхождения, технологичность производства, как правило, низкая токсичность и себестоимость биостимуляторов — все это позволяет считать их использование в растениеводстве перспективным [18].

## Цель работы

Перечень применяемых стимулирующих веществ невелик. Цель данного исследования — выявить основные особенности влияния интенсификаторов, созданных на основе неорганических и органических компонентов, на растительные объекты с достаточно быстрым развитием, отследить переход из семян, находящихся в состоянии покоя, в растения с частично и полностью развитой органической структурой.

## Объекты и методы исследования

В качестве модельных объектов исследования были взяты быстропрастающие семена фасоли *Phaseolus vulgaris* (L.) Savi., а также семена горчицы салатной листовой *Brassica juncea* L., которые перед использованием хранили в течение 1 мес при температуре +4 °С.

Семена фасоли замачивали в растворах стимулятора или воде на 6 ч, набухшие семена помещали в чашки Петри на смоченные бумажные вкладыши и выдерживали в камере с прозрачными стеклянными стенками в течение четырех суток, периодически увлажняя подложки. Пророщенные семена фасоли пересаживали в тепличный грунт и фиксировали развитие корневой системы на пятые сутки.

Семена горчицы для наблюдения скорости прорастания выдерживали в чашках Петри на смоченных, периодически увлажняемых подложках из бумажных вкладышей и выдерживали в камере трое суток.

Для изучения влияния регуляторов роста на начальные этапы прорастания семян использовали разработанные авторами статьи белковые кислотные гидролизаты (КГ) и ферментативные гидролизаты (КФ) из животного сырья. Гидролизаты КГ и КФ растворимы в воде, обладают высокой биологической эффективностью и широким спектром действия при низких концентрациях. Гидролизаты нетоксичны для теплокровных и не обладают ДНК-повреждающей и мутагенной активностью в широком диапазоне концентраций [12, 19–22]. Для сравнения использовали также известный органический регулятор роста — «Аминозол» (Германия). Применяли водные растворы стимуляторов (стимуляторы были разбавлены водой питьевой в соотношении 1:100).

Гидролизаты КФ и КГ представляют собой пептидно-аминокислотные смеси, полученные путем ферментативного или кислотного гидролиза животного сырья. КФ содержит следующие свободные аминокислоты, %: Иле 0,5; Лей 1,7; Лиз 1,4; Мет 0,5; Цис 0,4; Фен 0,7; Тир 1,2; Тре 0,4; Трп 1,2; Вал 1,5; Ала 0,8; Арг 2,6; Асп 1,3; Гис 1,3; Гли 0,4; Глу 7,4; Про 3,2; Сер 0,6; всего 28 аминокислот. В состав КФ также входит около 60 % пептидов с молекулярной массой 2...250 кДа.

В КГ содержание свободных аминокислот, %: Иле 4,7; Лей 5,5; Лиз 4,8; Мет 1,6; Цис 0,01; Фен 2,6; Тир 4,9; Тре 0,8; Трп 0,1; Вал 5,2; Ала 7,2; Арг 1,5; Асп 21,3; Гис 12,3; Гли 9,8; Глу 2,5; Про 3,8; Сер 1,4; всего 91 аминокислота. Для усиления стимулирующей способности в состав жидких стимуляторов вводили, г/100 г концентрата: КФ (или КГ) — 5; янтарную кислоту — 0,3; мочевины — 3;  $KNO_3$  — 3;  $K_2HPO_4$  — 3;  $MgSO_4$  — 4;  $NH_4NO_3$  — 6;  $(NH_4)_2SO_4$  — 1;  $Na_2B_4O_7$  — 0,1;  $MnSO_4$  — 0,002;  $ZnSO_4$  — 0,5;  $CuSO_4$  — 0,5.

В составе «Аминозола» содержалось свободных аминокислот, %: Иле 1,1; Лей 0,2; Лиз 0,3; Мет 0,2; Цис 0,5; Фен 0,7; Тир 0,3; Тре 0,02; Трп 0,1; Вал 1,2; Ала 1,4; Арг 1,3; Асп 0,9; Гис 0,15; Гли 0,6; Глу 0,7; Про 0,6; Сер 0,4; всего 8,8.

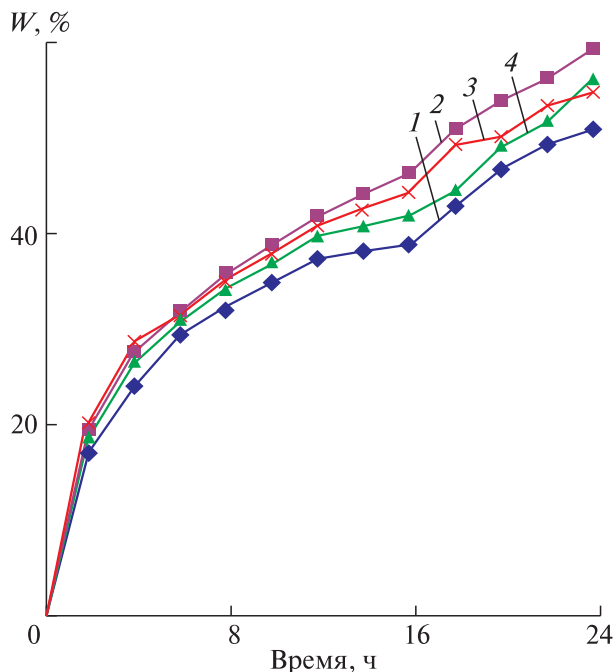
Уровень влажности семян определяли гравиметрическим методом, ферментативную амилазную активность — стандартными методами [23].

## Результаты и обсуждение

На рис. 1 представлены кинетические кривые набухания семян в растворах гидролизатов КГ и КФ. Из графиков видно, что процесс набухания семян в разбавленных растворах стимулятора и воде (контроль) протекает по классическому пути, описываемому кривой, имеющей характерный S-образный вид.

Семена растений являются живой биологической системой, на которую могут воздействовать внешние факторы (в данном случае — поступление влаги с питательными и стимулирующими веществами), вызывая протекание основных физиологических процессов, связанных с ростом и развитием семени и его продуктивностью.

Семена в состоянии покоя, в период начала прорастания проходят несколько основных этапов, в том числе активацию внутренних метаболических процессов, подготовку к началу роста — растяжение семени и начало развития органов проростка. На первом этапе гидрофобные биочастицы по капиллярно-электролитным законам смачивания притягивают водные растворы питательных веществ. Соответственно, они притягивают и компоненты применяемых стимуляторов. При этом происходит процесс перехода биологического объекта в активное состояние



**Рис. 1.** Степень набухания семян  $W$ , % от исходной массы, при прорастании в среде стимулятора КФ: 1 — горчица в воде, контроль; 2 — горчица, опыт; 3 — фасоль, контроль; 4 — фасоль, опыт

**Fig. 1.** The degree of seeds swelling  $W$ , % of the initial mass at germination in the environment of the stimulator KF: 1 — mustard in water, control; 2 — mustard, experiment; 3 — beans, control; 4 — beans, experiment

ферментно-регуляторных систем и начинается интенсивное развитие внутренних гидролитических процессов распада запасных питательных веществ и их поступление к точкам роста. Скорость и степень набухания семян связаны с пробуждением зародыша и началом активной жизнедеятельности.

Наиболее интенсивное набухание отмечалось в первые 6...8 ч нахождения семян в среде стимуляторов. За это время они достигали уровня влажности 38...42 % и в опытной, и в контрольной группе. Превышение в опытных образцах контрольных данных составляло до 5 %.

Период в 10...12 ч выдержки можно отнести к началу второго этапа прорастания — подготовке к растяжению клеток. Здесь наблюдался некоторый лаг-период (т. е. период, во время которого скорость поглощения влаги и растворенного в ней кислорода изменяется мало). В течение этого периода первичный стимулятор, роль которого выполняют водные растворы использованных гидролизатов, вызывает метаболическую реакцию и активацию факторов прорастания.

За лаг-периодом следует фаза, для которой характерны повторное повышение темпов водопоглощения и незначительное увеличение степени набухания. За 36...48 ч семена могут достигать уровня критической влажности, обуславливаю-

щей максимальное растяжение оболочки, в результате чего кончик корешка выталкивается из семени.

Таким образом, установлено, что процессы поступления водных растворов рассматриваемых стимуляторов в семенах фасоли и горчицы описываются кривой набухания, имеющей трехфазный характер. Это соответствует современным представлениям о набухании семян. При использовании регуляторов роста на основе гидролизатов животного происхождения общая направленность процесса не изменяется, но увеличивается скорость водопоступления, что выражается в более раннем достижении пороговых уровней, необходимых для активизации метаболических процессов в семени.

В семенах растительных культур основной запасной формой жизненной энергии являются углеводы, которые содержатся в клетках в виде крахмала и его производных. Содержание крахмала в семенах может достигать 30...65 % общей массы [24]. Прорастание семян как естественный процесс сопровождается внутренними биохимическими реакциями, в частности распадом крахмала и высвобождением энергии, необходимой для обеспечения роста растения. Реакция гидролиза крахмала происходит под воздействием ферментов — амилаз, которые находятся в семенах в свободном и связанном состоянии и могут активироваться при набухании. Интенсификация этого процесса коррелирует со скоростью и интенсивностью прорастания семян.

Согласно классическим представлениям о биохимии растений, фермент  $\alpha$ -амилаза начинает активно образовываться в процессе прорастания семян, а другая форма данного класса ферментов, расщепляющего крахмальные соединения,  $\beta$ -амилаза, уже находится в сухих семенах в связанном макрокомплексном состоянии. Считается, что основная роль в гидролитическом распаде крахмала с образованием сахаридов принадлежит именно  $\alpha$ -амилазе (1,4-глюкан-4-глюкогидролазе), расщепляющей активированные гранулы крахмала. Под действием  $\beta$ -амилаз (1,4-глюкан-мальтогидролаз) продуктами гидролиза становятся простые сахара [8, 12, 18]. Для авторов представляла интерес оценка амилазной активности при обработке семян изучаемыми стимуляторами роста.

На рис. 2 приведены данные об изменении уровня амилазной активности живых систем в процессе прорастания семян фасоли под воздействием стимуляторов.

В ходе проведенных исследований отмечено увеличение суммарной амилазной активности при обработке семян КГ, КФ и «Аминозолом» в первые 72 ч наблюдений (см. рис. 2). Максимум ферментативной активности был зарегистриро-

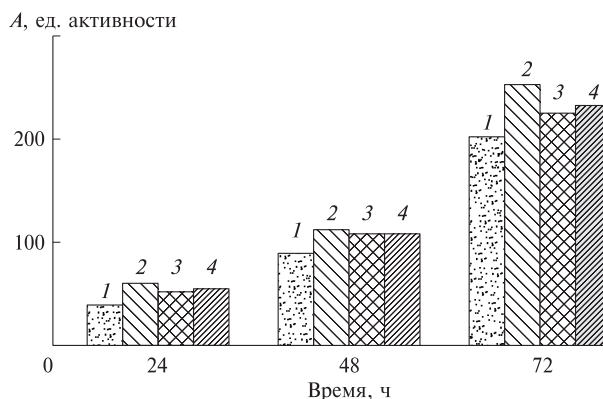


Рис. 2. Суммарная амилазная активность в семенах при прорастании *A*, ед. активности (мг гидролизованного крахмала за 1 ч на 1 г сухого вещества): 1 — вода (контроль); 2 — КГ; 3 — КФ; 4 — «Аминозол»

Fig. 2. Total amylase activity in seeds during germination *A*, unit activity (mg hydrolyzed starch for 1 h per 1 g of dry matter): 1 — water (control); 2 — KG; 3 — KF; 4 — «Aminozole»

ван на третьи сутки с превышением контроля на 10...15 %. Увеличение амилазной активности в присутствии регуляторов роста, по-видимому, способствует интенсификации потенциальных возможностей семени и, соответственно, способствует дальнейшему эффективному усвоению питательных веществ клеток и интенсивному развитию растения.

В таблице представлены интегральные значения эффекта влияния стимуляторов на скорость образования проросших семян горчицы, оцениваемого по доли проросших семян в зависимости от времени выдержки в питательной среде.

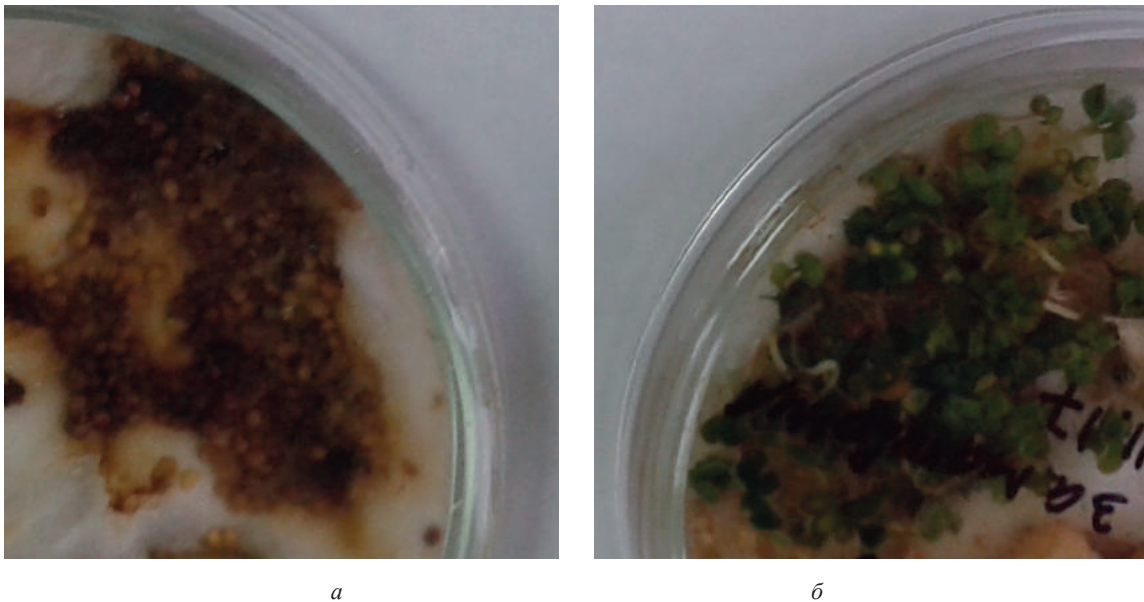
**Проращивание семян в присутствии стимуляторов роста, % от суммы**

Seed germination in the presence of growth stimulants, % of the amount

| Время, сут | Применение стимулятора |    |    |            |
|------------|------------------------|----|----|------------|
|            | Контроль (вода)        | ФГ | КГ | «Аминозол» |
| 1          | 20                     | 30 | 50 | 5          |
| 2          | 20                     | 45 | 65 | 16         |
| 3          | 50                     | 55 | 88 | 35         |

Из таблицы видно, что выдержка и проращивание семян происходило более интенсивно в среде тех стимуляторов, в которых при прочих равных условиях содержалось больше свободных аминокислот. Так, в стимуляторе КГ, содержащем в своей основе более 90 % достаточно сбалансированной смеси свободных аминокислот, выдержка семян приводила к прорастанию с большей скоростью по сравнению со стимулятором ФГ, в котором содержалось около 30 % свободных аминокислот, и «Аминозолом», содержащим





**Рис. 3.** Эффект проращивания семян горчицы под воздействием стимулятора КГ (3 сут, температура 25 °С, влажность 90 %): *a* — влияние воды; *б* — действие стимулятора

**Fig. 3.** The effect of the germination of mustard seeds under the influence of KG stimulator (3 days, temperature 25 °С, humidity 90%): *a* — the effect of water; *b* — stimulant effect



**Рис. 4.** Развитие культуры фасоли (температура 25 °С, влажность 85 %, естественная освещенность через стекло 500 лк, выдержка в воде питьевой 4 сут и дополнительно в грунте 5 сут, контроль)

**Fig. 4.** Development of bean cropper (temperature 25 °С, humidity 85 %, daylight through glass 500 lx, exposure to drinking water for 4 days and additionally in the ground 5 days, control)



**Рис. 5.** Развитие корней фасоли (температура 25 °С, влажность 85 %, естественная освещенность 500 лк, выдержка в среде биостимулятора КФ в течение 4 сут и 5 сут дополнительно в грунте, опыт)

**Fig. 5.** Bean root development (temperature 25 °С, humidity 85 %, daylight exposure 500 lx, exposure to the biostimulator KF environment for 4 days and 5 days additionally in the soil, experience)

не более 10 % свободных аминокислот. Больше всего аминокислот содержалось в стимуляторе КГ, и скорость образования ростков здесь была в несколько раз выше. Следует отметить, что в этом же стимуляторе содержится больше всего необходимого для развития растений свободного лизина.

Аминокислоты нужны для нормального метаболизма растений, поскольку являются теми элементами, из которых образуются белки растительных клеток. Если наличие запасных белков, определяет качество урожая, ферменты участвуют в регулировании процессов, происходящих в клетке, что еще важнее для растения.

Сами растения способны синтезировать необходимые для них аминокислоты. Однако в период интенсивного роста или в стрессовом состоянии поступление аминокислот извне позволяет растению ускорить метаболические процессы без дополнительных затрат энергии на самостоятельный синтез.

На рис. 3 наглядно представлено проращивание семян горчицы. Видно, что в среде стимулятора КГ (рис. 3, б) происходит интенсивное образование ростков, в то время как в водной среде (рис. 3, а) проращивание не произошло вообще, а в зоне эксперимента имело место развитие процессов загнивания. Аналогичный консервирующий эффект при добавлении стимулятора, который кроме питательных веществ содержит компоненты, вызывающие ингибирование развития микрофлоры, наблюдался также в ряде других независимых опытов.

Влияние стимуляторов прослеживается не только на ранних стадиях развития растений, но и на стадиях достаточно интенсивного образования отростков и корней, что хорошо видно на рис. 4 и 5. Развитие мощной корневой системы растения в присутствии стимуляторов, содержащих свободные аминокислоты и питательные вещества (см. рис. 5), является залогом дальнейшего успешного образования растительной биомассы.

## Выводы

Испытания органических биостимуляторов на основе продуктов переработки животного сырья показали, что имеет место их выраженное влияние на скорость проращивания семян растений и дальнейшее формирование зеленой биомассы.

Эффективность влияния стимуляторов может быть связана с наличием свободных аминокислот, которые содержались в стимуляторах в соотношениях, соответствующих количественному составу аминокислот в природных объектах, поскольку исходным сырьем для них послужило белковое сырье животного происхождения. Это может рассматриваться как дополнительный стимулирующий фактор.

## Список литературы

- [1] Numan M., Bashir S., Khan Y., Mumtaz R., Khan Z., Shinwari Z.K., Khan A.L., Khan A., Al-Harrasi A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review // *Microbiological Research*, 2018, v. 209, no. 4, pp. 21–32.
- [2] Смирнов А.И., Орлов Ф.С., Дроздов И.И. Влияние низкочастотного электромагнитного поля на проращивание семян и рост сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской // *Лесной журнал*, 2015. № 3/345. С. 53–58.
- [3] Welfle A. Balancing growing global bioenergy resource demands – Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade // *Biomass and Bioenergy*, 2017, v. 105, no.10, pp. 83–95.
- [4] Lima M.F., Eloy N.B., Siqueira J.A.B., Inzé D., Ferreira P.C.G. Molecular mechanisms of biomass increase in plants // *Biotechnology Research and Innovation*, 2017, v. 1, no. 1, pp.14–25.
- [5] Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шоба С.А., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Васильев С.Б., Новиков Д.А., Пастухов А.Е. Способ выбора состава растворов при предпосевной обработке семян зерновых культур препаратами-стимуляторами прорастания семян. Пат. 2593214 Российская Федерация МПК А01N 25/02 (2006.01) / заявитель и патентообладатель МГУЛ, № 2015110724/13, заявл. 26.03.2015, опубл. 10.08.2016, бюл. № 22. 10 с.
- [6] Laila K.M., Elbordiny M.M. Response of wheat plants to potassium humate application // *Journal of Applied Sciences Research*, 2009, v. 5, no. 9, pp. 1202–1209.
- [7] Lodhi A., Tahir S., Iqbal Z., Mahmood A., Akhtar M., Qureshi T.M., Yaqub M. and Naeem A. Characterization of commercial humic acid samples and their impact on growth of fungi and plants // *Soil Environ*, 2013, v. 32, no. 1, pp. 63–70.
- [8] Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н. Биологически активные соединения из природных объектов: свойства и структурно-функциональные взаимосвязи. М.: МГУЛ, 2003. 480 с.
- [9] Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д., Вострикова Н.Л. Биологически активные соединения природного происхождения. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011. 480 с.
- [10] Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: a review // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2008, v. 44, no. 1, pp. 6–18.
- [11] Mooij W.M., Boersma M. An object-oriented simulation framework for individual-based simulations: Daphnia population dynamics as an example // *Ecological Modelling*, 1996, v. 93, no. 1–3, pp. 139–153.
- [12] Pawlicki-Julian N., Courtois B., Pillon M., Lesur D., Courtois J. Exopolysaccharide production by nitrogen-fixing bacteria within nodules of Medicago plants exposed to chronic radiation in the Chernobyl exclusion zone // *Research in Microbiology*, 2010, v. 161, no. 2, pp. 101–108.
- [13] Иванкин А.Н., Красноштанова А.А. Гидролиз нанобиомолекулярных систем. М.: МГУЛ, 2010. 394 с.
- [14] Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н., Бердугина А.В. Основы биохимической переработки животного и комбинированного сырья. М.: ВНИИМП, 2003. 116 с.
- [15] Новиков И.С. Стимулятор роста и развития растений «Гиббор-М». Пат. 2142231 Российская Федерация МПК C05F 11/08, A01N 63/04 / заявитель и патентообладатель Новиков И.С. Заявка RU 97113040 А., № 97113040/13, заявл. 11.08.1997, опубл. 20.06.1999, бюл. № 1. 2 с.

- [16] Комоско Г.В., Кузнецов С.М., Фалевская М.А., Целищев А.Г. Способ получения стимулятора роста растений в результате непрерывной ферментации навоза крупного рогатого скота. Пат. RU 2542113 С1, МПК C05F 3/00 / № 2013144658/13, заявл. 07.10.2013, опубл. 20.02.2015, бюл. № 5, 16 с.
- [17] Диас Л.М., Лабурдетте Ж., Эрнандес Н., Хадано Х., Ветхоловски И., Пасторе М., Ошима А., Мюнкс К.В. Применение стимуляторов иммунной защиты для борьбы с вредными бактериальными организмами на культурных растениях. Пат. RU 2628290С2, МПК A01N 43/80 / № 2014134135, заявл. 17.01.2013, опубл. 15.08.2017, бюл. № 23, 58 с.
- [18] Яхин О.И., Лубянов А.А., Яхин И.А. Современные представления о биостимуляторах // Агрохимия, 2014. № 7. С. 85–90.
- [19] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Properties and uses of protein hydrolysates (review) // Applied Biochemistry and Microbiology, 2000, v. 36, no. 5, pp. 533, 534.
- [20] Chalamaiiah M., Yu W., Wu J. Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review // Food Chemistry, 2018, v. 245, no. 4, pp. 205–222.
- [21] Aguilar J.G.S., Sato H.H. Microbial proteases: Production and application in obtaining protein hydrolysates // Food Research International, 2018, v. 103, no.1, pp. 253–262.
- [22] Taniguchi M., Kawabe J., Toyoda R., Namae T., Tanaka T. Cationic peptides from peptic hydrolysates of rice endosperm protein exhibit antimicrobial, LPS-neutralizing, and angiogenic activities // Peptides, 2017, v. 97, no.11, pp. 70–78.
- [23] Лисицын А.Б., Иванкин А.Н., Неклюдов А.Д. Методы практической биотехнологии. М: ВНИИМП, 2002. 402 с.
- [24] Химический состав основных компонентов в объектах пищевого назначения. URL: [http://www.intelmeal.ru/nutrition/food\\_category.php](http://www.intelmeal.ru/nutrition/food_category.php) (дата обращения 10.11.2017).

## Сведения об авторах

**Иванкин Андрей Николаевич** — д-р хим. наук, профессор кафедры химии МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [aivankin@mgul.ac.ru](mailto:aivankin@mgul.ac.ru)

**Васильев Сергей Борисович** — канд. с.-х. наук, заведующий кафедрой искусственного лесовыращивания и механизации лесохозяйственных работ МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [svasilyev@mgul.ac.ru](mailto:svasilyev@mgul.ac.ru)

**Бабурина Марина Ивановна** — канд. биол. наук, ведущий научный сотрудник ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, [baburina2005@yandex.ru](mailto:baburina2005@yandex.ru)

**Вострикова Наталья Леонидовна** — канд. техн. наук, заведующая лабораторией ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, [nvostrikova@list.ru](mailto:nvostrikova@list.ru)

**Козырев Илья Владимирович** — ведущий научный сотрудник, руководитель направления ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, [ikozyrev@vniimp.ru](mailto:ikozyrev@vniimp.ru)

**Миттельштейн Татьяна Михайловна** — старший научный сотрудник ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, [pervichka@vniimp.ru](mailto:pervichka@vniimp.ru)

**Мишугина Татьяна Владимировна** — младший научный сотрудник ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН, [t.mishugina@fneps.ru](mailto:t.mishugina@fneps.ru)

Поступила в редакцию 23.05.2018.

Принята к публикации 20.08.2018.



## ABOUT THE MECHANISM OF BIOSYMLATION AND ACTIVATING THE DEVELOPMENT OF VEGETABLE CROPS

A.N. Ivankin<sup>1</sup>, S.B. Vasil'ev<sup>1</sup>, M.I. Baburina<sup>2</sup>, N.L. Vostrikova<sup>2</sup>, I.V. Kozyrev<sup>2</sup>, T.M. Mittelshtein<sup>2</sup>, T.V. Mishugina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 109316, Moscow, 26, Talalikhina st., Russia

aivankin@inbox.ru

The process of stimulation development of agricultural crop seeds was studied, the model objects of fast growing seeds of beans and mustard were used. Stimulation was carried out in the presence of complex organic biostimulators based on enzymatic and acidic hydrolysates of animal raw materials in comparison with the known foreign stimulant «Aminosol» (Germany). The enzymatic hydrolyzate is a peptide-amino acid mixture with a content of free amino acids, %: Ile 0.5; Leu 1.7; Liz 1.4; Met 0.5; Cis 0.4; Phe 0.7; Tyr 1.2; Tre 0.4; Trp 1.2; Val 1.5; Ala 0.8; Arg 2.6; Asp 1.3; Gis 1.3; Gly 0.4; Glu 7.4; Pro 3.2; Ser 0.6. The amount of free amino acids in the acid hydrolyzate reached 90 % and included, %: Ile 4.7; Leu 5.5; Liz 4.8; Met 1.6; Cis 0.01; Phe 2.6; Tyr 4.9; Tre 0.8; Trp 0.1; Val 5.2; Ala 7.2; Arg 1.5; Asp 21.3; Gis 12.3; Gly 9.8; Glu 2.5; Pro 3.8; Ser 1.4. The composition of stimulants included, g / 100 g: hydrolyzate — 5; succinic acid — 0.3; urea — 3; KNO<sub>3</sub> — 3; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> — 3; MgSO<sub>4</sub> — 4; NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub> — 6; (NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> — 1; Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> — 0.1; MnSO<sub>4</sub> — 0.002; ZnSO<sub>4</sub> — 0.5; CuSO<sub>4</sub> — 0.5. In Aminosole the amount of free amino acids, %: Ile 1.1; Lay 0.2; Lys 0.3; Met 0.2; Cis 0.5; Phe 0.7; Tyr 0.3; Tre 0.02; Trp 0.1; Val 1.2; Ala 1.4; Arg 1.3; Asp 0.9; Gis 0.15; Gly 0.6; Glu 0.7; Pro 0.6; Ser 0.4. We studied the process of seed swelling in the medium of stimulants, there was no significant difference in the hydration rate of the seeds. The change in the levels of amylase activity during seed treatment during the first 72 hours of development was assessed and the growth of amylase activity increased by more than 5 times. The expressed influence of the used stimulants on the rate of germination of plant seeds and the further formation of green biomass was established.

**Keywords:** plant growth stimulants, acid hydrolyzate AH, enzymatic hydrolyzate EH, stimulant «Aminosol»

**Suggested citation:** Ivankin A.N., Vasil'ev S.B., Baburina M.I., Vostrikova N.L., Kozyrev I.V., Mittelshtein T.M., Mishugina T.V. *O mekhanizme biostimulirovaniya i aktivatsii razvitiya rastitel'nykh kul'tur* [About the mechanism of biosymulation and activating the development of vegetable crops]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-5-13

## References

- [1] Numan M., Bashir S., Khan Y., Mumtaz R., Khan Z., Shinwari Z.K., Khan A.L., Khan A., Al-Harrasi A. Plant growth promoting bacteria as an alternative strategy for salt tolerance in plants: A review. *Microbiological Research*, 2018, v. 209, no. 4, pp. 21–32.
- [2] Smirnov A.I., Orlov F.S., Drozdov I.I. *Vliyaniye nizkochastotnogo elektromagnitnogo polya na prorstaniye semyan i rost sey-antsev sosny obyknovennoy i eli evropeyskoy* [Influence of low-frequency electromagnetic field on germination of seeds and growth of seedlings of Scotch pine and European spruce]. *Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 3/345, pp. 53–58.
- [3] Welfle A. Balancing growing global bioenergy resource demands – Brazil's biomass potential and the availability of resource for trade. *Biomass and Bioenergy*, 2017, v. 105, no. 10, pp. 83–95.
- [4] Lima M.F., Eloy N.B., Siqueira J.A.B., Inzé D., Ferreira P.C.G. Molecular mechanisms of biomass increase in plants. *Biotechnology Research and Innovation*, 2017, v. 1, no. 1, pp.14–25.
- [5] Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shoba S.A., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P., Vasil'ev S.B., Novikov D.A., Pastukhov A.E. *Sposob vybora sostava rastvorov pri predposevnoy obrabotke semyan zernovykh kul'tur preparatami-stimulyatorami prorstaniya semyan* [A method for selecting the composition of solutions in the presowing treatment of seeds of cereal crops with stimulant preparations of seed germination]. Patent RU 2593214, A01N 25/02 (2006.01), 2015110724/13, declared 26.03.2015, publ. 10.08.2016, bul. no. 22, 10 p.
- [6] Laila K.M., Elbordiny M.M. Response of wheat plants to potassium humate application. *Journal of Applied Sciences Research*, 2009, v. 5, no. 9, pp. 1202–1209.
- [7] Lodhi A., Tahir S., Iqbal Z., Mahmood A., Akhtar M., Qureshi T.M., Yaqub M. and Naeem A. Characterization of commercial humic acid samples and their impact on growth of fungi and plants. *Soil Environ*, 2013, v. 32, no. 1, pp. 63–70.
- [8] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Biologicheski aktivnye soedineniya iz prorodnykh ob'ektov: svoystva i strukturno-funktsional'nye vzaimosvyazi* [Biologically active compounds from natural objects. properties and structural-functional relationships]. Moscow: MGUL [Moscow State Forest University], 2003, 480 p.
- [9] Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Vostrikova N.L. *Biologicheski aktivnye soedineniya prirodnoy proishozhdeniya* [Biologically active compounds of natural origin]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011, 480 p.
- [10] Neklyudov A.D., Fedotov G.N., Ivankin A.N. Intensification of composting processes by aerobic microorganisms: a review. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2008, v. 44, no. 1, pp. 6–18.
- [11] Mooij W.M., Boersma M. An object-oriented simulation framework for individual-based simulations: Daphnia population dynamics as an example. *Ecological Modelling*, 1996, v. 93, no. 1–3, pp. 139–153.
- [12] Pawlicki-Julian N., Courtois B., Pillon M., Lesur D., Courtois J. Exopolysaccharide production by nitrogen-fixing bacteria within nodules of Medicago plants exposed to chronic radiation in the Chernobyl exclusion zone. *Research in Microbiology*, 2010, v. 161, no. 2, pp. 101–108.



- [13] Ivankin A.N., Krasnoshtanova A.A. *Gidroliz nanobiomakromolekulyarnykh sistem* [Hydrolysis of nanobiomacromolecular systems], Moscow: MGUL [Moscow State Forest University], 2010, 394 p.
- [14] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. *Osnovy biohimicheskoy pererabotki zhivotnogo i kombinirovannogo syr'ya* [Fundamentals of biochemical processing of animal and combined raw materials]. Moscow: VNIIMP, 2003, 402 p.
- [15] Novikov I.S. *Stimulyator rosta i razvitiya rasteniy «Gibbor-M»* [Stimulator of plant growth and development «Gibbor-M»]. Patent RU 2142231. Application RU 97113040 A, C05F 11/08, A01N 63/04, no. 97113040/13, declared 11.08.1997, publ. 06/20/1999, bull. no. 1, 2 p.
- [16] Komosko G.V., Kuznetsov S.M., Falevskaya M.A., Tselishev A.G. *Sposob polucheniya stimulyatora rosta rasteniy v rezul'tate nepreryvnoy fermentatsii navoza krupnogo rogatogo skota* [A method for obtaining the growth stimulator of plants as a result of continuous fermentation of manure of large horned cattle]. Patent RU 2542113 C1, C05F 3/00, no. 2013144658/13, declared 10/10/2013, publ. 02/20/2015, bull. no. 5, 16 p.
- [17] Dias L.M., Labourdette Zh., Ernandes N., Khadano Kh., Vetkholovski I., Pastore M., Oshima A., Myunks K.V. *Primeniye stimulyatora immunoj zashchity dlya bor'by s vrednymi bakterial'nymi organizmami na kulturnykh rasteniyakh* [Application of immune defense stimulants to control harmful bacterial organisms on cultivated plants]. Patent RU 2628290C2, A01N 43/80, no. 2014134135, declared 01/17/2013, publ. 08/15/2012, bull. no. 23, 58 p.
- [18] Yakhin O.I., Lubyaynov A.A., Yakhin I.A. *Sovremennyye predstavleniya o biostimulyatorakh* [Modern ideas about biostimulators]. *Agrokimiya* [Agrochemistry], 2014, no. 7, pp. 85–90.
- [19] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. Properties and uses of protein hydrolysates (review). *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2000, v. 36, no. 5, pp. 533, 534.
- [20] Chalamaiah M., Yu. W., Wu J. Immunomodulatory and anticancer protein hydrolysates (peptides) from food proteins: A review. *Food Chemistry*, 2018, v. 245, no. 4, pp. 205–222.
- [21] Aguilar J.G.S., Sato H.H. Microbial proteases: Production and application in obtaining protein hydrolysates. *Food Research International*, 2018, v. 103, no.1, pp. 253–262.
- [22] Taniguchi M., Kawabe J., Toyoda R., Namae T., Tanaka T. Cationic peptides from peptic hydrolysates of rice endosperm protein exhibit antimicrobial, LPS-neutralizing, and angiogenic activities. *Peptides*, 2017, v. 97, no. 11, pp. 70–78.
- [23] Lisitsyn A.B., Ivankin A.N., Neklyudov A.D. *Metody prakticheskoy biotekhnologii* [Methods of practical biotechnology]. Moscow: VNIIMP, 2002, 402 p.
- [24] *Khimicheskij sostav osnovnykh komponentov v ob'yektakh pishchevogo naznacheniya* [Chemical composition of the main components in food objects]. Available at: [http://www.intelmeal.ru/nutrition/food\\_category.php](http://www.intelmeal.ru/nutrition/food_category.php) (accessed 10.11.2017)

## Authors' information

**Ivankin Andrey Nikolaevich** — Dr. Sci. (Chemistry), Professor of the Department of Chemistry at the BMSTU (Mytishchi branch), [aivankin@mgul.ac.ru](mailto:aivankin@mgul.ac.ru)

**Vasil'ev Sergey Borisovich** — Cand. Sci. (Tech.), Head of Department of Artificial Forest Regeneration and Mechanization of Forestry Works of BMSTU (Mytishchi branch), [svasilyev@mgul.ac.ru](mailto:svasilyev@mgul.ac.ru)

**Baburina Marina Ivanovna** — Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, [baburina2005@yandex.ru](mailto:baburina2005@yandex.ru)

**Vostrikova Natal'ya Leonidovna** — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Laboratory of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, [nvostrikova@list.ru](mailto:nvostrikova@list.ru)

**Kozyrev Il'ya Vladimirovich** — Leading Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, [ikozyrev@vniimp.ru](mailto:ikozyrev@vniimp.ru)

**Mittelshtein Tat'yana Mikhaylovna** — Senior Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, [pervichka@vniimp.ru](mailto:pervichka@vniimp.ru),

**Mishugina Tat'yana Vladimirovna** — Junior Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, [t.mishugina@fncps.ru](mailto:t.mishugina@fncps.ru)

Received 23.05.2018.

Accepted for publication 20.08.2018.

## ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССОВ АЭРОСЕВА СЕМЯН В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

А.И. Новиков, Н.Е. Косиченко

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова» (ВГЛТУ), 39408, Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8

arthur.novikov@vglta.vrn.ru

Аэросев семян древесных пород широко применяется в лесном хозяйстве Российской Федерации, США, Китайской Народной Республики, Новой Зеландии и других стран. Аэросев семян с улучшенными наследственными свойствами позволит диверсифицировать и оптимизировать стандартные методы традиционного лесовосстановления. Исследована операционная технология аэросева леса, выявлены тенденции развития технологии. При использовании самолетов лесокультурная площадь должна иметь правильную форму и размер не менее 25 га при норме высева около 6 кг/га. Применение вертолетов позволяет проводить аэросев на более мелких участках и на участках неправильной конфигурации при норме высева 1,5...2 кг/га. Для аэросева используют высевальные аппараты дискового, туннельного и центробежного типа. Исследуется возможность аэросева с помощью беспилотных летательных аппаратов. Аэросев применяют при содействии естественному возобновлению и при искусственном лесовосстановлении в районах, недоступных для наземных средств по климатическим и географическим причинам, а также при обработке площадей, освобожденных в результате вырубок и гарей, где операционные технологии наземного посева неэффективны. Операционная технология аэросева в лесохозяйственном производстве развивается в направлении сегмента AeroNet, интегрирующего исследования в области качества, безопасности, биоинженерии и энергосбережения, объединенные когнитивной составляющей.

**Ключевые слова:** лесное хозяйство, лесовосстановление, аэросев, операционная технология, лесные семена, летательный аппарат, высевальный аппарат, тенденции развития

**Ссылка для цитирования:** Новиков А.И., Косиченко Н.Е. Тенденции развития процессов аэросева семян в лесохозяйственном производстве // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 14–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-14-25

Леса образуют экологический каркас нашей планеты, выполняя защитные, водоохранные, климаторегулирующие, биосферные, воздухоочистительные и другие важные функции. Увеличение лесного покрова и расширение лесовосстановления способствуют продуцированию кислорода и депонированию углерода в лесных экосистемах, а также обеспечению экологической, продовольственной и социальной безопасности при устойчивом управлении с использованием информационных систем [1]. По данным Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), общая площадь лесов на Земле в 1946 г. составляла 4 млрд га, а в 2010 г. — 4,033 млрд га [2], из которых 795 млн га являются землями лесного фонда Российской Федерации [3].

Согласно концепции интенсивного использования и воспроизводства лесов, «применение методов ускоренного лесовыращивания с использованием посадочного материала и семенного фонда улучшенных качеств, полученных на основе достижений методов лесной генетики и селекции» [4], позволит диверсифицировать и улучшить стандартные методы традиционного лесовосстановления [5–8].

С искусственным лесовосстановлением тесно связаны предпосевная обработка [9, 10] и хра-

нение семян, а также их прямой посев в закрытый грунт (лесосеменные центры) и открытый грунт. Посев семян при создании лесных культур в зависимости от биологических особенностей и условий местопроизрастания подразделяют на рядовой, строчно-луночный, ленточный, биогруппами [11, 12], вразброс.

Андрей Андреевич Нартов (1737–1813) в своей статье «О посеве леса» (1765), наряду с делением лесных культур сосны и ели на лесотипологические группы по условиям местопроизрастания и качеству роста, предложил осуществлять посев леса: «У нас находятся три рода обыкновенных деревьев, а именно: ель, сосна и береза, кои легко на самой скудной и сухой земле в великом множестве вырастают. При посеянии сих деревьев должно примечать следующие три вещи, а именно: в какое время собирать семена, как и на какой земле их сеять надлежит» [13].

Андрей Тимофеевич Болотов (1738–1833) в своей работе «Некоторые дальнейшие замечания о посеве лесов, могущие служить руководством для желающих заводить оные» (1781) [14] дал ряд ценных практических рекомендаций по проведению посева и посадки леса, включая технику посева, ширину междурядий, густоту посева, смешение пород.

Дж. У. Тумей (James William Toumey), профессор лесной школы Йелльского университета (США), в классическом труде по лесоводству «Посев семян и лесопосадки» («Seeding and planting») (1916) отмечал целесообразность прямого посева и особую роль отводил «тестированию лесных семян на жизнеспособность по внешним признакам» [15].

Аэросев как разновидность прямого посева в открытый грунт применяют в основном для содействия естественному возобновлению леса, сокращая время, необходимое для восстановления биологического разнообразия экосистем.

## Цель работы

Цель работы: 1) изучить процессы аэросева семян в лесохозяйственном производстве и степень их применимости при лесовосстановлении; 2) проверить предположение о том, что развитие аэросева зависит только от способов подготовки почвы и вида засеваемой площади («нулевая гипотеза»); 3) доказать, что перспективным направлением при аэросеве леса является использование беспилотных летательных аппаратов.

## Материалы и методы

Объект исследования — операционная технология аэросева леса. Выявление тенденций развития технологии базировалось на методологии проведения систематического обзора [16]. Исследования проводили поэтапно: 1) формулировка вопроса; 2) формирование протокола и стратегии поиска; 3) поиск данных; 4) анализ данных. Вопросы формулировали с учетом мнения ведущих специалистов в данной области. Протокол обзора формировали на основании следующих критериев: поиск, включение результатов, исключение результатов, извлечение, сравнение фактических данных. Поиск проводили в базах данных систем индексирования, государственных коллекций, электронных библиотек ведущих университетов мира, используя комбинации ключевых условий: «высев AND воздушный» («seeding AND aerial»), «лес AND посев с воздуха» («forest AND sowing air»).

## Результаты исследования

Вопросы применения аэросева в лесовосстановительном производстве изучали: Н. Захаров (1933) [17], Г.Г. Самойлович (1935) [18], В.Я. Олеринский (1939), Г.С. Батраков (1940), Ф.Б. Орлов (1947) [19], А.П. Шиманюк (1949) [20], А.П. Пестерев (1952) [21], И.С. Мелехов (1953, 1954) [22, 23], Р. Mikola (1953), В.Ф. Молчанов (1954) [24], Ф.И. Сулимов (1954) [25], О.Э. Шергольд (1954), А.А. Алексеев (1955), Н.Е. Декатов (1955) [26], I.S. Allen et al. (1955) [27], G. Siren (1955),

Н.Е. Декатов и Н.С. Зюзь (1956) [28], Е.П. Сысоев (1956), И.А. Чернышев (1956) [29], П.И. Войчалъ (1959) [30], И.А. Григорьев с соавт. (1959) [31], Л.А. Истомин (1959) [32], П.Н. Львов и А.И. Стальский (1959) [33], М.Н. Прокопьев (1959) [34], Г.С. Голутвин (1960) [35], Ю.В. Курепин (1960), А.И. Ирошников (1962) [36], J. Revel (1963), А.А. Марусов (1966) [37], В.Е. Кизенков (1968) [38], H.J. Derg и W.F. Mann (1971) [39], M.E. Faulkner et al. (1972) [40], H.H. Levack (1973) [41], П.А. Анишин (1977), J.D. Scott (1981) (1981) [42], X.D. Liu et al. (1983) [43], D.M. Morris et al. (1994) [44], C. Yang (1996), S. Greipsson и H. El-Mayas (1999) [45], W.S. Shen (1999) [46], A.D. Wood (2000) [47], H.H. Чернов (2002), L. Qi et al. (2003) [48], Beyers (2004), С.В. Грибов (2007), Д.Ю. Коновалов (2007), Н.Н. Неволин (2007), А.В. Устожанин (2008), А.Н. Groen и S.W. Woods (2008) [49], G. Li et al. (2009) [50], Ю.М. Авдеев (2010), А.В. Оводов (2010), D. Peppin et al. (2010) [16], И.В. Морозова (2011), В.А. Якимов (2013), S. Elliott et al. (2013), ), D.A. Pyke et al. (2013), L. Rongao (2013) [51], K.W. Davies et al. (2014), J. Sturmer (2017) [52], X. Xiao et al. (2015) [53], В.В. Копытков (2017) [54] и другие ученые. Процесс аэросева вызывает стойкий интерес специалистов.

Предположим, что развитие процессов посева леса с воздуха не соответствует уровню развития применяемой техники, а зависит только от способа обработки почвы и вида засеваемой площади. Тогда необходимо установить, что являлось основой структурирования аэросева. Приведем наиболее значимые результаты исследований.

Иван Степанович Мелехов (1905–1994), академик ВАСХНИЛ, утверждал, что «...при правильном применении аэросев является эффективным способом возобновления хвойных пород в определенных типах гарей и вырубков. Быстрота высева семян с самолета не может быть превзойдена наземными способами. Но это — одна сторона. Поднимаясь в воздух, нельзя забывать о земле, на что мы указывали в печати уже давно и на что, к сожалению, длительное время не обращали внимания» [23].

Аэросев семян древесных пород широко применяли в лесном хозяйстве СССР — для хвойных деревьев в центральных районах, саксаула в полупустынных и пустынных районах. В 1932 г. аэросев провели на площади в 58 тыс. га [21], а в 1953 г. — в таежных районах на площади 22,6 тыс. га [23]. При создании лесных культур на территориях с радиоактивным загрязнением с учетом радиобиологических особенностей семян [55] эффективность аэросева гранул составила 43,8 % [54].

В 1960-х гг. аэросев семян сосны Монтеррея (*Pinus radiata*) при норме высева 2,24 кг/га использовали в сочетании с естественной регенерацией в лесах Каингароа (Kaingaroa) (Новая Зеландия), но впоследствии прекратили из-за повышенного расхода семян и трудности достижения равномерной всхожести [41].

В США аэросев успешно применяли на площадях, восстанавливаемых после бури или пожара, где нельзя было использовать наземную технику из-за обилия пней и других препятствий. Практически 75 % посевных площадей засеяно с воздуха с помощью пилотируемых самолетов и вертолетов. На площадях для лесовосстановления, превышающих 500 акров (около 202 га), аэросев обходится не дороже большинства наземных методов разбросного посева; с его помощью можно выполнить работу в короткие сроки [39].

В Китае аэросев леса применяют свыше 50 лет. Только в 2012 г. Этим способом были обработаны площади 136 400 га. Хотя основным приемом лесоразведения остается посадка сеянцев, в отдаленных горных провинциях (например Гуанси, Юньнань, Сычуань и др.) успешно используют аэросев таких пород, как *Pinus massoniana*, *Pinus yunnanensis* и *Pinus armandi* [56].

В табл. 1 приведены литературные данные о факторах, влияющих на эффективность аэросева леса, с указанием авторов работ и времени исследования. За основу классификации факторов взята возможность подготовки почвы, поскольку, как справедливо заметил И.С. Мелехов, «...одновременно с обработкой почвы можно эффективно сочетать и наземный посев» [23]. Учтены возможные площади для проведения лесовосстановительных работ и базовый уровень

Т а б л и ц а 1

**Структура факторов, влияющих на эффективность аэросева леса  
(ретроспективный анализ)**

**The structure of factors affecting the aerial sowing forest efficiency (retrospective analysis)**

| Подготовка почвы | Тип площадей   | Базовый уровень техники   |   |
|------------------|--|---|---|
|                  |  | Пилотируемые авиационные системы  | Беспилотные летательные аппараты  |
| Нет              | Кипрейно-паловые вырубki в сочетании с контурными обсеменителями                                     | Захаров (1933) [17], Самойлович (1935) [18], Олеринский (1939), Батраков (1940), Орлов (1947) [19], Шиманюк (1949) [20], Пестерев (1952) [21], Мелехов (1953, 1954) [22, 23], Молчанов (1954) [24], Сулимов (1954) [25], Шергольд (1954), Алексеев (1955), Декатов (1955) [26], Декатов и Зюзь (1956) [28], Сысоев (1956), Чернышев (1956) [29], Войчаль (1959) [30], Григорьев и др. (1959) [31], Истомин (1959) [32], Львов и Стальский (1959) [33], Прокопьев (1959) [34], Голутвин (1960) [35], Курепин (1960)            | Нет данных на момент исследования   |
|                  | Нарушенные земли, в том числе после техногенных катастроф, осложненные повышенным радиационным фоном | Копытков (2017) [54]  | То же   |
|                  | Недоступные для наземной техники земли, характеризующиеся сложным рельефом                           | Декатов (1936), Ирошников (1962); Derr, Mann (1971); Levack (1973); Анишин (1977); Scott (1981); Greipsson, El-Mayas (1999), Чернов (2002), R. Herman et al. (2003); Beyers (2004), Грибов (2007), Коновалов (2007), Неволин (2007), Устюжанин (2008), Groen, Woods (2008), Авдеев (2010), Оводов (2010), Xiao et al. (2015) [53], Морозова (2011), Якимов (2013)   | Elliott et al. (2013); Lei (2016), Sturmer (2017) Соколов, Новиков (2017) |
|                  | Гари   | Mikola (1953), Allen et al. (1955) [27], Siren (1955), Revel (1963), Марусов (1966) [37], Кизенков (1968) [38], Derr, Mann (1971) [39], Faulkner et al. (1972) [40], Levack (1973) [41], Scott (1981) [42], Liu et al. (1983) [43], Morris et al. (1994) [44], Yang (1996), Greipsson, El-Mayas (1999) [45], Shen (1999) [46], Wood (2000) [47], Qi et al. (2003) [48], Beyers (2004), Groen, Woods (2008) [49], Li et al. (2009) [50], Peppin et al. (2010) [51], Pyke et al. 2013, Rongao (2013) [52], Davies et al. (2014) | Нет данных на момент исследования   |
| Есть             | Луговиковые, вейниковые, таволговые вырубки  | Мелехов (1954)<br>Орлов (1954, 1956)  | То же   |



применяемых технических средств (летательных и высевающих аппаратов). Заметим, что целесообразность аэросева в сочетании с проведением специальных мероприятий по подготовке почвенного и напочвенного покровов весьма условна по эффективности совокупных затрат.

Допустим, что основным фактором, влияющим на эффективность аэросева, является подготовка почвы (и способ ее осуществления). Тогда отсутствие операций подготовки почвы (вспашки, боронования и др.), отмечаемое большинством исследователей, должно являться ключевым и единственным критерием развития. Однако существует ограничение: если при лесовосстановительных работах обработка почвы не проводится, то можно осуществлять как ручной посев вразброс, так и аэросев. Следовательно, уникальность нулевой гипотезы под вопросом.

Допустим, что фактор, определяющий эффективность аэросева, — это вид восстанавливаемой площади. Тогда недоступность этих площадей, в соответствии с мнением многих исследователей (см. табл. 1), будет ключевым и единственным критерием развития. Однако и здесь существует ограничение, выражаемое в возможности лесовосстановления крутых склонов на расстоянии наземной техникой, способной придавать капсуле с семенами начальную кинетическую энергию. Следовательно, необходимость лесовосстановления труднодоступных площадей методом аэросева существует, а достаточность для однозначного определения тенденции — под вопросом.

Рассмотрим альтернативную гипотезу, заключающуюся в том, что развитие процессов аэросева соответствует развитию уровня применяемой техники. Во всех случаях, приведенных в табл. 1, до 2013 года в качестве летательных аппаратов использовали пилотируемые авиационные системы самолетного и вертолетного типа. Четко прослеживается временная взаимосвязь между появлением нового вида летательных аппаратов и началом его использования при аэросеве. Однако здесь имеются также некоторые ограничения, требующие сравнения способов посева в зависимости от степени механизации (табл. 2).

Как видно из табл. 2, пилотируемые летательные аппараты самолетного и вертолетного типа широко применялись в мировой практике и применяются в некоторых случаях до настоящего времени, преимущественно при работах сельскохозяйственного назначения. В 1958–1963 гг. в США [39] оба типа давали «превосходное распределение и точность высева при лесовосстановлении больших площадей — до 1500 акров (607,03 га) в день легким самолетом и около 3000 акров (1214,06 га) в день вертолетом» [57]. При этом затраты на аэросев семенного материала *Pinus contorta*

с вертолета составили 8,5...11 долл./га, тогда как использование наземного механизированного оборудования обошлось в 17...25 долл./га, а ручная посадка семян стоила свыше 250 долл./га (в ценах 1972 г.) [40].

Основное оборудование для аэросева — высевающие аппараты:

– дискового типа (агрегатирование с У-2АС, приводятся в действие от ветрового колеса);

– туннельного типа (распылители широкозахватные РТШ-1, РТШ-1М, РТШ-1Б, агрегируемые с АН-2, СП-30, Ми-2);

– центробежного типа (агрегатирование с Ка-26).

В 1971 г. в Каингароа (Kaingaroa) (Новая Зеландия) при воздушном посеве семян сосны Монтеррея были использованы новые для того времени высевающие аппараты (хопперы) [45]. Основным показателем высева, определяющим типаж и конструкцию высевающих аппаратов для аэросева, является норма высева по ГОСТ 16265–89, определяемая как количество всхожих семян, высеваемых на одном гектаре, или их масса с учетом их посевной годности. Норму высева, равно как и другие характеристики для разведения растений, указывают в протоколе лесоразведения (Plant Propagation Protocol), содержащемся в базе данных лесных культур (Plants Database USDA). Например, средняя норма высева для семян дуба, применяемая в штате Иллинойс (США) при механизированном посеве в строку, составляет 7500 шт./га, вразброс — 12 000 шт./га вблизи края поля на расстоянии 3 м от опушки леса; с учетом хищничества норму высева удваивают [56].

Заметим, что при использовании самолетов лесокультурная площадь должна быть не менее 25 га и иметь правильную форму. Норма высева семян около 6 кг/га. Применение вертолетов позволяет проводить аэросев на более мелких участках и с неправильной конфигурацией. Норма высева семян сосны и ели 1,5...2 кг/га. Следовательно, для проведения лесовосстановительных работ под пологом леса или с высокой точностью при сокращении норм высева и размеров площадей требуется переход на новую авиационную технику.

Использованию беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в лесном хозяйстве посвящено достаточное количество исследований (R. Launchbury (2014) [58], А.И. Николаева (2016)), в том числе по аэросеву леса (Elliott et al. (2013), W. Lei (2016), J. Sturmer (2017) [52], С.В. Соколов, А.И. Новиков (2017) [59] и др.).

Например, в Северном Таиланде лесовосстановление трудно осуществить из-за крутых склонов, недоступных для людей и техники. В отделе лесовосстановления департамента биологии Чиангмайского университета (FORRU)

Т а б л и ц а 2

**Характеристики способов посева мелкосеменного  
репродуктивного материала**  
Method characteristics of sowing small-seed reproductive material

| Способ посева   | Особенности посевных площадей   | Норма высева, кг/га               | Затраты, долл./га (в ценах времени исследований) |
|---|---|-----------------------------------|--|
| С помощью пилотируемого самолета (самолеты У-2АС, АН-2, СП-30, Cessna, «Бекас», СУ-38, НАРП, «Спектр», мотодельтапланы Т-2М, «Ветер», «Гриф», «Горизонт», N3360P и др.) | Открытая площадь 25–100 га, иногда необходимо прикатывание или боронование  | 6–8 (в сельском хозяйстве до 18)  | Нет данных на момент исследования                |
| С помощью пилотируемого вертолета (КА-26, МИ-2, N8422E и др.)   | Открытая площадь 5–25 га любой геометрической формы, иногда необходимо прикатывание или боронование   | 1,5–2                             | 8,5–11 (1972) [40]                               |
| С помощью беспилотного самолета (Supercam и др.)  | Открытая площадь правильной геометрической формы, земли с радиационным фоном  | Нет данных на момент исследования | Нет данных на момент исследования                |
| С помощью беспилотного вертолета (Supercam и др.)   | Открытая или закрытая площадь (полог леса) любой геометрической формы, любой сложный рельеф, любое увлажнение почвы, земли с радиационным фоном, иногда необходимо прикатывание или боронование | То же                             | То же  |
| Наземный механизированный (сеялки лесные универсальные или сеялки лесные питомниковые и др.)  | Открытая или закрытая площадь любой геометрической формы, ровный или с небольшим уклоном рельеф, развитая дорожная инфраструктура, отсутствие препятствий                                       | 60 (в строку), до 80 (вразброс)   | 17–25 (1972) [40]                                |
| Наземный ручной   | Открытая или закрытая площадь (полог леса), необходима развитая дорожная инфраструктура и (или) система жизнеобеспечения  | Нет данных на момент исследования | Свыше 250 (1972) [40]                            |

проводятся исследования по применению аэропосева с использованием беспилотных летательных аппаратов, способных нести и сбрасывать семена на указанной территории [56]. Данных о типе БПЛА не приводится.

В Австралии разработана технология аэропосева пророщенных семян на крутых склонах и на землях, нарушенных минными полями [52]. Вначале проводят рекогносцировку местности с помощью БПЛА самолетного типа, оснащенного современным оптическим оборудованием и соответствующей информационной системой. Затем БПЛА вертолетного типа (квадрокоптер) по полученным координатам проводит точечный высев. По словам разработчика Сьюзен Грэм (Dr. Susan Graham), эта технология позволит «в 10 раз увеличить скорость посева по сравнению с ручным и на 20 % снизить стоимость работ» [52]. Данных о конструктивных особенностях БПЛА, сохранности и приживаемости сеянцев не приводится.

## Обсуждение

Прежде чем оценивать эффективность аэропосева, необходимо уточнить терминологию. Перспективным направлением создания лесных культур на площадях, недоступных и (или) неэффективных для традиционных способов, представляется один из видов посева вразброс — «аэросев леса», определяемый как «посев леса с помощью летательных аппаратов» (ГОСТ 17559–82) [59]. К авиационной работе «аэросев семян» относят «рассев авиационным способом семян различных растений на участок земной поверхности» (ГОСТ Р54265–2010) [60]. Однако начало использования в качестве технических средств БПЛА позволит производить высев любым способом. Основными показателями аэропосева являются:

– грунтовая всхожесть — «...число семян, давших всходы в условиях посева в грунт, выраженное в процентах к общему числу высеянных семян» (Гаврилова и др., 2015) [61];

– приживаемость лесных культур — «...величина, определяемая отношением числа посадочных или посевных мест, занятых деревьями и кустарниками культивируемых пород, к общему числу учтенных посадочных или посевных мест, согласно акту технической приемки, выраженная в процентах» (ГОСТ 17559–82) [59];

– сохранность лесных культур — «...величина, определяемая отношением площади жизнеспособных лесных культур к общей площади лесных культур, заложенных за определенный период, выраженная в процентах» (ГОСТ 17559–82) [59].

Аэросев с помощью БПЛА применяется в следующих случаях (см. табл. 2):

– при лесовосстановлении площадей, освободившихся в результате вырубок (в том числе паловых), где применение операционной технологии наземного посева неэффективно;

– при лесовосстановлении площадей, освободившихся в результате гарей, где применение операционной технологии наземного посева неэффективно;

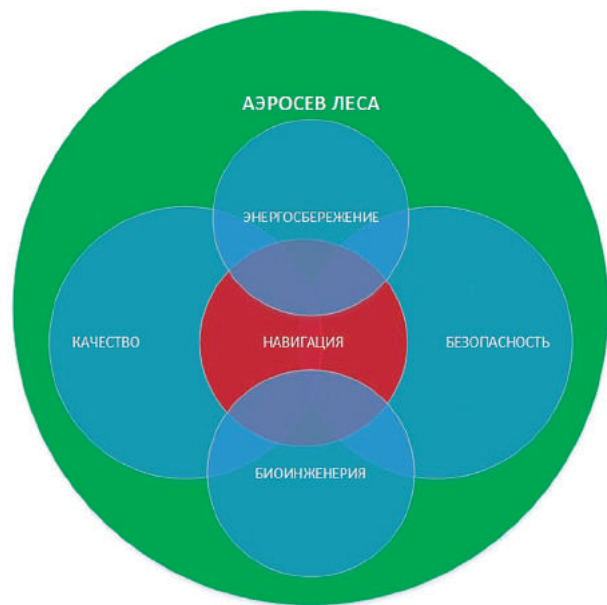
– при содействии естественному лесовозобновлению и при искусственном лесовосстановлении в районах, недоступных для наземных средств по климатическим и географическим причинам;

– при содействии естественному лесовозобновлению и при искусственном лесовосстановлении в районах, недоступных для людей ввиду сложности радиационным фоном и (или) после техногенных катастроф.

Экономическая эффективность аэросева зависит также от посевных качеств семян (прежде всего от их жизнеспособности), определяемых при неразрушающем экспресс-анализе (тестировании) и улучшаемых предпосевной обработкой по качественному признаку.

Говоря о степени проработанности технической составляющей аэросева на настоящий момент, следует отметить, что в конструкциях хопперов, агрегируемых как с пилотируемыми авиационными системами, так и с беспилотными летательными аппаратами, преобладают узлы и элементы, обеспечивающие поддержку количественных характеристик при исключительном посеве вразброс, эффективную при восстановлении почвенного покрова растениями, не очень чувствительными к недостатку и неравномерности площади питания (травы и др.).

Оценивая тенденции развития операционной технологии аэросева в лесохозяйственном производстве, необходимо учитывать возможности использования и особенности взаимодействия ключевых технологий (рисунок). В качестве возможного базового направления рассмотрим



Особенности взаимодействия ключевых технологических направлений при аэросеве  
Features of key technologies interaction in aerial sowing

технологический сегмент AeroNet, в котором сочетаются предполагаемые исследования в области качества, безопасности, биоинженерии и энергосбережения, объединенные когнитивной составляющей.

При изучении вопросов экологической безопасности и энергосбережения при аэросеве следует руководствоваться основными принципами технологической платформы «Комплексная безопасность и энергетика»: неразрушающий контроль качества репродуктивного материала с использованием современных когнитивных методов и средств, повышающих достоверность результатов; полное исключение технологических операций с применением двигателей внутреннего сгорания, повышающих экологическую нагрузку на окружающую среду.

Исследования в области биоинженерии при аэросеве должны базироваться на стратегическом принципе технологической платформы «Био-Tech2030» — получении репродуктивного семенного материала с заданными генотипическими свойствами, в основе которого лежит гипотеза Л.Ф. Правдина о селекционном значении цветосеменных рас. Суть гипотезы: «При изучении кариотипа сосны обыкновенной обнаружены существенные отличия в морфологии хромосом как различных географических форм, так и разновидностей по цвету семян» [62]. В данной области запланированы изыскания Воронежского государственного лесотехнического университета с коллегами с Лесного факультета Белградского университета (Сербия). Совместно с ними на территории учебно-опытного лесхоза ВГЛТУ заложен научный

Т а б л и ц а 3

**Предварительные технические требования к БПЛА, предназначенным  
для аэросева, и возможности их реализации**

**Preliminary technical requirements for UAVs designed for aerial seeding and the possibility of their implementation**

| Технические требования   | Возможности реализации  |
|--|---|
| 1. Грузоподъемность из расчета 1–1,5 кг оборудования плюс требуемое число семян в зависимости от дифференцированной нормы высева | Можно установить экспериментальное оборудование на БПЛА самолетного типа грузоподъемностью порядка 5,0 кг или на БПЛА вертолетного типа грузоподъемностью до 3,0 кг. Разрабатываются БПЛА грузоподъемностью 15, 70 и 200 кг |
| 2. Монтаж хоппера  | Монтаж, разработка программного обеспечения и оптимизация устройства возможны благодаря универсальности российской платформы БПЛА   |
| 3. Полет на малых скоростях (менее 10 км/ч), устойчивость (особенно при ветровой нагрузке)                                       | Рабочие скорости БПЛА самолетного типа: 60–80 км/ч (20–30 м/с), вертолетного типа: 0–40 км/ч (0–15 м/с)   |
| 4. Наличие ручного и автоматического управления, автопилота  | Есть автоматическое, полуавтоматическое и ручное управление   |
| 5. Программирование автопилота любым несведущим оператором (понятный интерфейс)  | Возможно при обязательном прохождении обучения  |
| 6. Установка дополнительных датчиков движения (и их сопряжение с уже существующими на БПЛА)                                      | Возможно  |
| 7. Точность движения по заданной траектории  | Точность движения 2–3 м при различной ветровой нагрузке (например, боковым ветре)   |
| 8. Точность определения текущего местоположения  | До 5 см в плане и до 15 см по высоте (при аэрофотосъемке — точность координат центров фотографий)   |
| 9. Монтаж оборудования для сева, установка дополнительных датчиков и другие доработки на предприятии                             | ОКР в силу специфики должны выполняться разработчиками БПЛА на базе, согласованной с предприятием-разработчиком. Для БПЛА действуют все правила разработки, производства и ремонта авиатехники                              |

объект для изучения роста и развития лесных культур *Pinus sylvestris*, полученных из семян разного цвета.

Исследования в области качества при аэросеве включают вопросы качества: репродуктивного материала при экспресс-анализе, где используются оптические технологий; изготовления активизирующих защитных и питательных капсул; непосредственного проведения посева. Здесь запланированы работы на базе ВГЛТУ. Направление работ будет определяться исходя из последующих наблюдений за пробными площадями, заложенными из отсортированных по качественному признаку семян сосны обыкновенной.

Исследования в области навигации при аэросеве [63–65] должны соответствовать основным принципам построения структуры тесно интегрированной инерциально-спутниковой системы мониторинга БПЛА, обеспечивающей при пропадании спутниковых измерений определение всех параметров движения беспилотных летательных аппаратов по автономному алгоритму.

## Выводы

Таким образом, гипотеза о возможных тенденциях развития аэросева леса может быть принята

только с учетом требований необходимости и достаточности, а именно с учетом вида восстанавливаемых площадей и используемых технических средств. По мнению авторов, наибольшей целесообразности и эффективности можно достичь при выборе интенсивного пути развития аэросева в направлении беспилотной авиации.

В табл. 3 приведены требования к беспилотным техническим средствам для аэросева и данные о возможностях реализации перечисленных требований.

Для решения задач аэросева леса наиболее приемлемым представляется использование БПЛА вертолетного типа с числом лопастей не менее шести (гексакоптеры) вследствие большей грузоподъемности и устойчивости к ветровой нагрузке, а в перспективе — с применением гибридной аэродинамической схемы.

Запланированы всесторонние комплексные исследования, сочетающие современные достижения в области биоинженерии, энергоэффективности, экологической безопасности, беспилотного воздухоплавания и навигации, актуальность которых подтверждается технологическими платформами «БиоТех2030» и «Авиационная мобильность и авиационные технологии».



*Работа выполнена при поддержке научного гранта ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова. Номер гранта АААА-А17-117071910071-7 ЕГИСУ НИОКТР.*

## Список литературы

- [1] Новикова Т.П. Состояние и задачи развития интегрированных информационных систем управления // Наука XXI века: проблемы и перспективы: Матер. Международной научно-практической конференции. Уфа, Башкирский государственный университет, 29–30 мая 2017 г. Уфа: Исследовательский центр информационно-правовых технологий, 2013. С. 106–108.
- [2] Global Forest Resources Assessment 2010: main report. FAO Forestry Paper 163. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2010. 344 p.
- [3] ЕМИСС. Площадь лесных земель / Единая межведомственная информационно-статистическая система. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/38194> (дата обращения 19.10.2017).
- [4] Концепция интенсивного использования и воспроизводства лесов. СПб.: СПбНИИЛХ, 2015. 16 с.
- [5] Бурцев Д.С. Перспективы создания инновационных продуктов в области воспроизводства лесов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014. № 3. С. 6–17.
- [6] Морковина С.С., Драпалюк М.В., Баранова Е.В. Инновационные технологии в лесохозяйственном деле: реальность и перспективы // Лесотехнический журнал, 2015. Т. 5. № 3 (19). С. 327–338.
- [7] State of the World's Forests 2016: Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. 107 p.
- [8] Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. A/RES/70/1, New York, USA. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication> (дата обращения 07.07.2017).
- [9] Новиков А.И. Дисковые сепараторы семян в лесохозяйственном производстве. Воронеж: ВГЛТУ, 2017. 159 с.
- [10] Новиков А.И. Некоторые технологические особенности сортировальных устройств и тенденции их развития // Лес и молодежь ВГЛТА — 2000: Матер. Юбилейной научной конференции молодых ученых, посвященной 70-летию образования Воронежской государственной лесотехнической академии. В 2 т. Воронеж, ВГЛТА, 21–25 февраля 2000 г. Воронеж: ВГЛТА, 2000. Т. 2. С. 53–60.
- [11] Новиков А.И. О новых способах сортирования лесных семян хвойных пород // Леса Евразии в третьем тысячелетии: Матер. Международной конференции молодых ученых. Москва, МГУЛ, 26–29 июня 2001 г. М.: МГУЛ, 2001. С. 90–91.
- [12] Огиевский В.Д. Избранные труды. М.: Лесная промышленность, 1966. 356 с.
- [13] Нартов А.А. О посеве леса // Труды Императорского Вольного Экономического общества, 1765. Ч. 1. С. 28–35.
- [14] Болотов А.Т. Избранные сочинения по агрономии, плодоводству, лесоводству, ботанике. М.: Московское общество испытателей природы, 1952. 523 с.
- [15] Toumey J.W. Seeding and planting: a manual for the guidance of forestry students, foresters, nurserymen, forest owners, and farmers. New York: John Wiley & Sons, 1916. 455 p.
- [16] Peppin D., Fule P.Z., Hull Sieg C., Beyers J.L., Hunter M.E. Post-wildfire seeding in forests of the western United States: An evidence-based review. Forest Ecology and Management, 2010, vol. 260, pp. 573–586.
- [17] Захаров Н. Опытные работы по аэросеву сосны // Лесное хозяйство и лесозаготовка, 1933. № 2. С. 12–15.
- [18] Самойлович Г.Г. Аэросев семян на лесных площадях // Лесное хозяйство и лесозаготовка, 1935. № 3. С. 19–22.
- [19] Орлов Ф.Б. Аэросев на повторных гарях в условиях Севера: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Воронеж, 1947. 19 с.
- [20] Шиманюк А.П. Восстановительные процессы в сосновых лесах Северного Урала // Восстановительные процессы на концентрированных лесосеках. М.: АН СССР, 1949. С. 66–126.
- [21] Пестерев А.П. Аэросев как способ возобновления вырубленных площадей на Севере // Лесное хозяйство, 1952. № 9. С. 29–32.
- [22] Мелехов И.С. Возобновление леса в связи с рубками в лесах Севера // Лесное хозяйство, 1953. № 6. С. 4–7.
- [23] Мелехов И.С. Механизация лесозаготовок и возобновление леса // Концентрированные рубки в лесах Севера: Сб. статей / под ред. Т.И. Кищенко. М.: АН СССР, 1954. С. 159–172.
- [24] Молчанов В.Ф. Восстановление леса на концентрированных вырубках // Лесное хозяйство, 1954. № 4. С. 13–17.
- [25] Сулимов Ф.И. Опыт аэросева семян хвойных пород // Лесное хозяйство, 1954. № 3. С. 70–74.
- [26] Декатов Н.Е. Аэросев в таежной зоне // Лесное хозяйство, 1955. № 3. С. 24–26.
- [27] Allen I.S., Barber I.K., Mahood I. The 1951 aerial baiting and seeding project ash River Tract Mac Millan and Bloedel limited. The Forestry Chronicle, 1955, vol. 31, no. 1, pp. 45–59. DOI: 10.5558/tfc31045-1
- [28] Декатов Н.Е., Зюзь Н.С. Указания по аэросеву семян сосны и ели. Л.: ЦНИИ лесного хозяйства, 1956. 19 с.
- [29] Чернышев И.А. Опыт аэросева сосны на Урале // Лесное хозяйство, 1956. № 11. С. 80, 81.
- [30] Войчал П.И. Необходима разработка теории аэросева // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 1959. № 2. С. 172, 173.
- [31] Григорьев И.А., Полежаев С.А., Пестерев А.П. Применение аэросева в лесном хозяйстве. М.; Л.: Гослесбуиздат, 1959. 71 с.
- [32] Истомина Л.А. Опыт аэросева в Кировской области // Лесное хозяйство, 1959. № 7. С. 27–41.
- [33] Львов П.Н., Стальский А.И. Аэросев семян сосны и ели в связи с типами вырубок // Основы типологии вырубок и ее значение в лесном хозяйстве / под ред. акад. ВАСХНИЛ И.С. Мелехова. Архангельск: Институт леса и лесохимии АН СССР, 1959. С. 196–208.
- [34] Прокопьев М.Н. Аэросев сосны и ели как способ лесовосстановления // Лесное хозяйство, 1959. № 10. С. 23–29.
- [35] Голутвин В.С. Результаты аэросева ели на гарях и вырубках западного склона Среднего Урала // Вопросы развития лесного хозяйства на Урале: Труды Института биологии Уральского филиала АН СССР, 1960. Вып. 16. С. 159–162.
- [36] Ирошников А.И. К вопросу об использовании аэросева при внедрении лиственницы в Вологодской области: материалы временных коллективов // Труды Института леса и древесины Сибирского отделения АН СССР, 1962. Т. 58. С. 238–244.
- [37] Марусов А.А. Опыт аэросева леса в Пермской области. Пермь: Кн. изд-во, 1966. 32 с.
- [38] Кизенков В.Е. Эффективность аэросева в условиях Архангельской и Вологодской областей: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1968. 16 с.
- [39] Derr H.J., Mann W.F. Direct-seeding pines in the south. Agriculture Handbook 391, Forest Service. Washington D.C. (USA): USDA, 1971. 73 p.

- [40] Faulkner M.E., Trotman I.G., Garnett B.T. Aerial seeding of pines for protection afforestation; Kaweka Forest, Hawke's Bay. *New Zealand Journal of Forestry*, 1972, vol. 17, no. 1, pp. 81–90.
- [41] Levack H.H. The Kaingaroa air sowing era 1960–71. *New Zealand Journal of Forestry*, 1973, vol. 18, no. 1, pp. 104–108.
- [42] Scott J.D., Mergen F., Mann H.G., Moulds F.R., Hordmeyer A.H., Vietmeyer N.D. *Sowing Forests from the Air*. National Research Council. Washington D.C. (USA): The National Academies Press, 1981, 62 p. DOI: 10.17226/19670
- [43] Liu X.D., Wu Q.X., Hou Q.C., Shi L.M. Ecological distribution of aerial Chinese pine seedlings. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 1983, vol. 3, no. 6, pp. 77–82.
- [44] Morris D.M., Bowling C., Hills S.C. Growth and form responses to pre-commercial thinning regimes in aerially seeded jack pine stands: 5th year response. *The Forestry Chronicle*, 1994, vol. 70, no. 6, pp. 780–787.
- [45] Greipsson S., El-Mayas H. Large-scale reclamation of barren lands in Iceland by aerial seeding. *Land Degradation and Development*, 1999, vol. 10, pp. 185–193.
- [46] Shen W.S. Successional stage and rate of the aerial seeding vegetation in the Maowusu Sandyland. *Scientia Silvae Sinicae*, 1999, vol. 35, no. 3, pp. 103–108.
- [47] Wood A.D. Experimental studies of potential improvements in the forest regeneration capabilities of «seed-containing aerial darts». *The Forestry Chronicle*, 2000, vol. 76, no. 3, pp. 406–418.
- [48] Qi L.-H., Pang T., Chen X.-P. A study of the nutrient cycle in aerially seeded *Pinus massoniana* of Hunan Province. *Journal of Central South Forestry University*, 2003, vol. 23, no 2, pp. 26–32.
- [49] Groen A.H., Woods S.W. Effectiveness of aerial seeding and straw mulch for reducing post-wildfire erosion, north-western Montana, USA. *International Journal of Wildland Fire*, 2008, vol. 17, pp. 559–571.
- [50] Li G., Liu Y., Ma L., Lv R., Yu H., Bai S., Kang Y. Comparison of tree growth and undergrowth development in aerially seeded and planted *Pinus tabulaeformis* forests. *Frontiers of Forestry in China*, 2009, vol. 4, no. 3, pp. 283–290.
- [51] Rongao L. Aerial seeding in China. *Dryland Management: Economic Case Studies*, 2013, pp. 34–40.
- [52] Sturmer J. Climate change in drones' sights with ambitious plan to remotely plant nearly 100,000 trees a day. 2017. Available at: <http://mobile.abc.net.au/news/2017-06-25/the-plan-to-plant-nearly-100,000-trees-a-day-with-drones/8642766> (дата обращения 08.07.2017).
- [53] Xiao X., Wei X., Liu Y., Ouyang X., Li Q., Ning J. Aerial seeding: An effective forest restoration method in highly degraded forest landscapes of sub-tropic regions. *Forests*, 2015, vol. 6, no. 6, pp. 1748–1762.
- [54] Копытков В.В. Ресурсосберегающие технологии выращивания посадочного материала и создания лесных культур в Беларуси с использованием композиционных материалов: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.01. Брянск, 2017. 49 с.
- [55] Косиченко Н.Е. Радиобиологическое обоснование отдельных аспектов лесного семеноводства // Генетика и селекция — на службе лесу: Тезисы докладов Международной научно-практической конференции, Воронеж, НИИЛГиС, 28–29 июня 1996 г. / отв. ред. Ю.П. Ефимов. Воронеж: Родная речь, 1996. С. 28–29.
- [56] Forest landscape restoration in Asia-Pacific forests. / Ed. S. Appanah. Bangkok (Thailand): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Center for People and Forests, 2016, 198 p.
- [57] Forest Planting Practice in the Central States. Ed. G.A. Limstrom. *Agricultural Handbook, Forest Service*. Washington D.C. (USA): USDA, 1963, no. 247, 70 p.
- [58] Launchbury R. Unmanned Aerial Vehicles in Forestry. *The Forestry Chronicle*, 2014, vol. 90, no. 4, pp. 418–420.
- [59] ГОСТ 17559–82. Лесные культуры. Термины и определения. М.: Изд-во стандартов, 1985. 18 с.
- [60] ГОСТ P54265–2010. Воздушный транспорт. Авиационные работы. Классификация. М.: Стандартинформ, 2012. 22 с.
- [61] Gavrilova O.I., Gostev K.V., Zhuravleva M.V. Study germination of seeds of forest seed *Picea abies* country stations in the Barents region // *Forestry Engineering Journal*, 2015, no. 2 (5), pp. 7–16.
- [62] Pravdin L.F. Osnovnye zakonomernosti geograficheskoy izmenchivosti sosny obyknovlennoy (*Pinus silvestris* L.) Основные закономерности географической изменчивости сосны обыкновенной // *Вопросы лесоведения и лесоводства: Докл. на V Всемирном Лесном конгрессе*. М.: АН СССР, 1960. С. 245–250.
- [63] Соколов С.В., Погорелов В.А. Стохастическая оценка, управление и идентификация в высокоточных навигационных системах. М.: Физматлит, 2016. 264 с.
- [64] Соколов С.В., Новиков А.И. Тенденции развития операционной технологии аэросева беспилотными летательными аппаратами в лесовосстановительном производстве // *Лесотехнический журнал*, 2017. Т. 7. № 4. С. 190–205.
- [65] Сысоев Е.П. Восстановление леса аэросевом на концентрированных вырубках в условиях Кировской области: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Свердловск, 1961. 23 с.

## Сведения об авторах

**Новиков Артур Игоревич** — канд. техн. наук, доцент, доцент Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, [arthur.novikov@vglta.vrn.ru](mailto:arthur.novikov@vglta.vrn.ru).

**Косиченко Николай Ефимович** — д-р биол. наук, профессор, главный научный сотрудник научно-исследовательского отдела Воронежского государственного лесотехнического университета им. Г.Ф. Морозова, [nis@vglta.vrn.ru](mailto:nis@vglta.vrn.ru)

Поступила в редакцию 24.01.2018.

Принята к публикации 03.05.2018.

## TRENDS OF AERIAL SEEDING IN FORESTRY

A.I. Novikov, N.E. Kosichenko

Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov, 8, Timiryazeva st., 39408, Voronezh, Russia  
arthur.novikov@vglta.vrn.ru

The process of sowing seeds with improved hereditary properties will help to diversify and optimize the standard methods of traditional reforestation. The object of the study was sowing forest from the air. Identifying trends in the development of technologies based on the methodology of systematic review. Aerial seeding of tree species has found wide application in forestry of the Russian Federation, USA, China, New Zealand and other countries. When using aircraft the silviculture area is to have the correct shape of size not less than 25 ha at a sowing rate of 6 kg/ha. Use of helicopters allows for aerial seeding on smaller sites and with the irregular configuration with a seeding rate of 1.5...2 kg/ha. The main equipment was sowing machines, disk, tunnel and centrifugal types. The application of unmanned aerial vehicles was studied. The basis of amalgamated classification is necessary to consider the possibility of preparation of soil, the types of recoverable space, means. Aerial sowing is used along with natural regeneration and artificial reforestation in areas inaccessible to terrestrial vehicles due to climatic and geographical reasons, as well as in the treatment of logged areas and burnt areas where the ground-based operational technologies are ineffective. The operating technology of aerial sowing in forestry production is developing in the direction of the AeroNet segment, integrating research in the field of quality, safety, bioengineering and energy saving combined by a cognitive component.

**Keywords:** forestry, aerial reforestation, artificial reforestation, development trends, sowing air, aerial vehicles, aerial seed system

**Suggested citation:** Novikov A.I., Kosichenko N.E. *Tendentsii razvitiya protsessov aeroseva semyan v lesokhozyaystvennom proizvodstve* [Trends of aerial seeding in forestry]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 14–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-14-25

## References

- [1] Novikova T.P. *Sostoyanie i zadachi razvitiya integrirannykh informatsionnykh sistem upravleniya* [The status and tasks of development of integrated information management systems]. *Nauka XXI veka: problemy i perspektivy: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Science of the XXI century: problems and prospects. Proceeding of International scientific-practical conference]*. Ufa: Issledovatel'skiy tsentr informatsionno-pravovykh tekhnologiy [Research center of information and legal technologies], 2013, pp. 106–108.
- [2] *Global Forest Resources Assessment 2010: main report*. FAO Forestry Paper 163. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2010. 344 p.
- [3] *EMISS. Ploshchad' lesnykh zemel'* [The area of forest land]. Available at: <https://www.fedstat.ru/indicator/38194> (accessed 19.10.2017).
- [4] *Kontseptsiya intensivnogo ispol'zovaniya i vosproizvodstva lesov* [The concept of intensive use and reproduction of forests]. Saint Petersburg: FBU «SPbNIILKh» [Federal State-Funded Organization «Saint Petersburg Forestry Research Institute»], 2015. 16 p.
- [5] Burtsev D.S. *Perspektivy sozdaniya innovatsionnykh produktov v oblasti vosproizvodstva lesov* [The prospects for the creation of innovative products in the field of forest reproduction]. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaistva* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2014, no. 3, pp. 6–17.
- [6] Morkovina S.S., Drapalyuk M.V., Baranova E.V. *Innovatsionnye tekhnologii v lesokul'turnom dele: real'nost' i perspektivy* [Innovative technologies in silviculture: reality and prospects]. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2015, vol. 5, no. 3 (19), pp. 327–338.
- [7] *State of the World's Forests 2016: Forests and agriculture: land-use challenges and opportunities*. Rome (Italy): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2016. 107 p.
- [8] *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development*. A/RES/70/1, New York, USA. URL: <https://sustainabledevelopment.un.org/post2015/transformingourworld/publication> (accessed 07.07.2017).
- [9] Novikov A.I. *Diskovye separatory semyan v lesokhozyaystvennom proizvodstve* [Disc separators of seeds in forestry production]. Voronezh: VGLTU, 2017. 159 p.
- [10] Novikov A.I. *Nekotorye tekhnologicheskie osobennosti sortiroval'nykh ustroystv i tendentsii ikh razvitiya* [Some technological features of the sorting devices and development trends]. *Les i molodezh' VGLTA — 2000: Materialy yubileynoy nauchnoy konferentsii molodykh uchenykh, posvyashchennaya 70-letiyu obrazovaniya Voronezhskoy gosudarstvennoy lesotekhnicheskoy akademii* [Forest and youth VSAFE — 2000: Proceedings of the anniversary scientific conference of young scientists dedicated to 70-th anniversary of VSAFE]. In 2 v. Voronezh, VGLTA, 2000, v. 2, pp. 53–60.
- [11] Novikov A.I. *O novykh sposobakh sortirovaniya lesnykh semyan khvoynykh porod* [New methods of separation of forest seeds of coniferous species]. *Lesa Evrazii v tret'em tysyacheletii: Materialy Mezhdunarodnoy konferentsii molodykh uchenykh* [Forests of Eurasia in the third Millennium: proceedings of the International Conference of Young Scientists]. Moscow, MGUL, 2001, pp. 90–91.
- [12] Ogievskiy V.D. *Izbrannye trudy* [Selected proceedings]. Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1966. 356 p.
- [13] Nartov A.A. *O poseve lesa* [About the planting forests]. *Trudy Imperatorskogo Vol'nogo Ekonomicheskogo obshchestva* [Proceedings of the Imperial Free Economic society], 1765, part 1, pp. 28–35.
- [14] Bolotov A.T. *Izbrannye sochineniya po agronomii, plodovodstvu, lesovodstvu, botanike* [Selected works on agriculture, horticulture, forestry, botany]. Moscow: Moskovskoye obshchestvo ispytateley prirody [Moscow society of naturalists], 1952, 523 p.



- [15] Toumey J.W. Seeding and planting: a manual for the guidance of forestry students, foresters, nurserymen, forest owners, and farmers. New York: John Wiley & Sons, 1916, 455 p.
- [16] Peppin D., Fule P.Z., Hull Sieg C., Beyers J.L., Huntera M.E. *Post-wildfire seeding in forests of the western United States: An evidence-based review*. Forest Ecology and Management, 2010, vol. 260, pp. 573–586.
- [17] Zakharov N. *Opytnye raboty po aroseyu sosny* [Development work in pine aerial seeding]. Lesnoe khozyaystvo i lesnoeksploatatsiya [Forestry and mining], 1933, no. 2, pp. 12–15.
- [18] Samoylovich G.G. *Aroseyev semyan na lesnykh ploshchadyakh* [Aerial seeding on forest land]. Lesnoe khozyaystvo i lesnoeksploatatsiya [Forestry and mining], 1935, no. 3, pp. 19–22.
- [19] Orlov F.B. *Aroseyev na povtornykh garyakh v usloviyakh Severa*. Avtoref. diss. kand. s.-kh. nauk [Aerial seeding for reburned areas in the North. Extended abstract of candidate's thesis]. Voronezh, 1947. 19 p.
- [20] Shimanyuk A.P. *Vosstanovitel'nye protsessy v osnovnykh lesakh Severnogo Urala* [Recovery processes in pine forests of the Northern Urals]. Vosstanovitel'nye protsessy na kontsentririrovannykh lesosekakh [Recovery processes in concentrated felling areas]. Moscow: AN SSSR [USSR Academy of Sciences], 1949, pp. 66–126.
- [21] Pesterev A.P. *Aroseyev kak sposob vozobnovleniya vyrubaemykh ploshchadey na Severe* [Aerial seeding as a way to recover felled areas in the North]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1952, no. 9, pp. 29–32.
- [22] Melekhov I.S. *Vozobnovlenie lesa v svyazi s rubkami v lesakh Severa* [Renewal of the forest in connection with felling in the forests of the North]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1953, no. 6, pp. 4–7.
- [23] Melekhov I.S. *Mekhanizatsiya lesozagotovok i vozobnovlenie lesa* [Mechanization of logging and wood restoration]. Kontsentririrovannye rubki v lesakh Severa [Concentrated logging in the forests of the North]. Ed. T.I. Kishchenko. Moscow: AN SSSR [USSR Academy of Sciences], 1954, pp. 159–172.
- [24] Molchanov V.F. *Vosstanovlenie lesa na kontsentririrovannykh vyrubkakh* [Restoring forests on concentrated felling]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1954, no. 4, pp. 13–17.
- [25] Sulimov F.I. *Opyt aroseyeva semyan khvoynykh porod* [Aerial seeding experience of conifers]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1954, no. 3, pp. 70–74.
- [26] Dekatov N.E. *Aroseyev v taezhnoy zone* [Sowing air in the taiga zone]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1955, no. 3, pp. 24–26.
- [27] Allen I.S., Barber I.K., Mahood I. The 1951 aerial baiting and seeding project ash River Tract Mac Millan and Bloedel limited. The Forestry Chronicle, 1955, vol. 31, no. 1, pp. 45–59. DOI: 10.5558/TFC31045-1
- [28] Dekatov N.E., Zyuz' N.S. *Ukazaniya po aroseyu semyan sosny i eli* [Guidelines for aerial planting of seeds of pine and spruce]. Leningrad: TSNII lesnogo khozyaystva [Central Research Institute of Forestry], 1956, 19 p.
- [29] Chernyshev I.A. *Opyt aroseyeva sosny na Urale* [Aerial seeding experience on the Ural region]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1956, no. 11, pp. 80–81.
- [30] Voychal' P.I. *Neobkhodima razrabotka teorii ayerooseva* [It is necessary to develop the theory of air seeding]. Izvestiya vyshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal [Bulletin of Higher Educational Institutions. Forest Journal], 1959, no. 2, pp. 172, 173.
- [31] Grigor'ev I.A., Polezhaev S.A., Pesterev A.P. *Primenenie aroseyeva v lesnom khozyaistve* [The use of aerial seeding in forestry]. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat, 1959, 71 p.
- [32] Istomin L.A. *Opyt aroseyeva v Kirovskoy oblasti* [Experience aerial seeding in the Kirov region]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1959, no. 7, pp. 27–41.
- [33] L'vov P.N., Stal'skiy A.I. *Aroseyev semyan sosny i eli v svyazi s tipami vyrubok* [Aerial seeding of pine and spruce in connection with the types of logging]. Osnovy tipologii vyrubok i ee znachenie v lesnom khozyaystve [The foundations of a typology of deforestation and its importance in forestry]. Arkhangel'sk: Institut lesa i lesokhimii AN SSSR [Institute of Forest and Wood Chemistry of the USSR Academy of Sciences], 1959, pp. 196–208.
- [34] Prokop'ev M.N. *Aroseyev sosny i eli kak sposob lesovosstanovleniya* [Aerial seeding for pine and spruce trees as a way of reforestation]. Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1959, no. 10, pp. 23–29.
- [35] Golutvin V.S. *Rezul'taty aroseyeva eli na garyakh i vyrubkakh zapadnogo sklona Srednego Urala* [The results of spruce sowing air on burned and felled areas of the Western slope of the Middle Urals]. Voprosy razvitiya lesnogo hozyaistva na Urale: Trudy Instituta biologii Ural'skogo filiala Akademii nauk SSSR [Forestry development in the Urals: Proc. Institute of Biology, Ural branch of the USSR Academy of Sciences], 1960, vol. 16, pp. 159–162.
- [36] Iroshnikov A.I. *K voprosu ob ispol'zovanii aroseyeva pri vnedrenii listvennitsy v Vologodskoy oblasti* [To the question about the use of aerial seeding in the introduction of larch in the Vologda region]. Trudy Instituta lesa i drevesiny Sibirskogo otdeleniya Akademii nauk SSSR [Proceedings of Institute of Forest and Wood of Siberian branch of the USSR Academy of Sciences], 1962, vol. 58, pp. 238–244.
- [37] Marusov A.A. *Opyt aroseyeva lesa v Permskoy oblasti* [Experience sowing forest from the air in the Perm region]. Perm': Kn. izd-vo, 1966. 32 p.
- [38] Kizenkov V.E. *Effektivnost' aroseyeva v usloviyakh Arkhangel'skoy i Vologodskoy oblastey*. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk. [The effectiveness of aerial seeding in the conditions of Arkhangel'sk and Vologda regions. Extended abstract of candidate's thesis]. Leningrad, 1968. 16 p.
- [39] Derr H.J., Mann W.F. *Direct-seeding pines in the south*. Agriculture Handbook 391, Forest Service. Washington D.C. (USA): USDA, 1971, 73 p.
- [40] Faulkner M.E., Trotman I.G., Garnett B.T. *Aerial seeding of pines for protection afforestation; Kaweka Forest, Hawke's Bay*. New Zealand Journal of Forestry, 1972, vol. 17, no. 1, pp. 81–90.
- [41] Levack H.H. *The Kaingaroa air sowing era 1960–71*. New Zealand Journal of Forestry, 1973, vol. 18, no. 1, pp. 104–108.
- [42] Scott J.D., Mergen F., Mann H.G., Moulds F.R., Hordmeyer A.H., Vietmeyer N.D. *Sowing Forests from the Air*. National Research Council. The National Academies Press, Washington D.C. (USA): 1981, 62 p. DOI: 10.17226/19670
- [43] Liu X.D., Wu Q.X., Hou Q.C., Shi L.M. *Ecological distribution of aerial Chinese pine seedlings*. Bulletin of Soil and Water Conservation, 1983, vol. 3, no. 6, pp. 77–82.
- [44] Morris D.M., Bowling C., Hills S.C. *Growth and form responses to pre-commercial thinning regimes in aerially seeded jack pine stands: 5th year response*. The Forestry Chronicle, 1994, vol. 70, no. 6, pp. 780–87.



- [45] Greipsson S., El-Mayas H. *Large-scale reclamation of barren lands in Iceland by aerial seeding*. Land Degradation and Development, 1999, vol. 10, pp. 185–193.
- [46] Shen W.S. *Successional stage and rate of the aerial seeding vegetation in the Maowusu Sandyland*. Scientia Silvae Sinicae, 1999, vol. 35, no. 3, pp. 103–108.
- [47] Wood A.D. *Experimental studies of potential improvements in the forest regeneration capabilities of «seed-containing aerial darts»*. The Forestry Chronicle, 2000, vol. 76, no. 3, pp. 406–418.
- [48] Qi L.-H., Pang T., Chen X.-P. *A study of the nutrient cycle in aerially seeded Pinus massoniana of Hunan Province*. Journal of Central South Forestry University, 2003, vol. 23, no 2, pp. 26–32.
- [49] Groen A.H., Woods S.W. *Effectiveness of aerial seeding and straw mulch for reducing post-wildfire erosion, north-western Montana, USA*. International Journal of Wildland Fire, 2008, vol. 17, pp. 559–571.
- [50] Li G., Liu Y., Ma L., Lv R., Yu H., Bai S., Kang Y. *Comparison of tree growth and undergrowth development in aerially seeded and planted Pinus tabulaeformis forests*. Frontiers of Forestry in China, 2009, vol. 4, no. 3, pp. 283–290.
- [51] Rongao L. *Aerial seeding in China*. Dryland Management: Economic Case Studies, 2013, pp. 34–40.
- [52] Sturmer J. *Climate change in drones' sights with ambitious plan to remotely plant nearly 100,000 trees a day*. 2017. Available at: <http://mobile.abc.net.au/news/2017-06-25/the-plan-to-plant-nearly-100,000-trees-a-day-with-drones/8642766> (accessed 08.07.2017).
- [53] Xiao X., Wei X., Liu Y., Ouyang X., Li Q., Ning J. *Aerial seeding: An effective forest restoration method in highly degraded forest landscapes of sub-tropic regions*. Forests, 2015, vol. 6, no. 6, pp. 1748–1762.
- [54] Kopytkov V.V. *Resursosberegayushchie tekhnologii vyrashchivaniya posadochnogo materiala i sozdaniya lesnykh kul'tur v Belarusi s ispol'zovaniem kompozitsionnykh materialov*. Avtoref. dis. d-ra s.-kh. nauk [Energy saving technologies of cultivation of a landing material and creation of forest cultures in Belarus with the use of composite materials. Extended abstract of Doctor's thesis]. Bryansk, 2017. 49 p.
- [55] Kosichenko N.E. *Radiobiologicheskoe obosnovanie otdel'nykh aspektov lesnogo semenovodstva* [Radiobiological rationale for certain aspects of forest seed production]. Genetika i selektsiya na sluzhbe lesu: Tezisy dokladov Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Genetics and selection the service forest. Abstracts of Papers of the International Scientific-Practical Conference], Voronezh: Rodnaya rech', 1996, pp. 28–29.
- [56] *Forest landscape restoration in Asia-Pacific forests*. Ed. S. Appanah. Bangkok (Thailand): Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), Center for People and Forests, 2016, 198 p.
- [57] *Forest Planting Practice in the Central States*. Ed. G.A. Limstrom. Agricultural Handbook, Forest Service. Washington D.C. (USA): USDA, 1963, no. 247, 70 p.
- [58] Launchbury R. *Unmanned Aerial Vehicles in Forestry*. The Forestry Chronicle, 2014, vol. 90, no. 4, pp. 418–420.
- [59] *GOST 17559–82. Lesnye kul'tury. Terminy i opredeleniya* [Forest cultures. Terms and Definitions]. Moscow: Izd-vo standartov [Publishing house of standards], 1985, 18 p.
- [60] *GOST R54265–2010. Vozdushnyy transport. Aviatsionnye raboty. Klassifikatsiya* [Air Transport. Aviation work. Classification]. Moscow: Standardinform, 2012, 22 p.
- [61] Gavrilo O.I., Gostev K.V., Zhuravleva M.V. *Study germination of seeds of forest seed Picea abies country stations in the Barents region // Forestry Engineering Journal*, 2015, no. 2 (5), pp. 7–16.
- [62] Pravdin L.F. *Osnovnye zakonomernosti geograficheskoy izmenchivosti sosny obyknovvennoy (Pinus sylvestris L.)*. [The main regularities of the geographical variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.)]. Moscow: AN SSSR, 1960, pp. 245–250.
- [63] Sokolov S.V., Pogorelov V.A. *Stokhasticheskaya otsenka, upravlenie i identifikatsiya v vysokotochnykh navigatsionnykh sistemakh* [Stochastic assessment, management and identification of high precision navigation systems]. Moscow: Fizmatlit, 2016, 264 p.
- [64] Sokolov C.V., Novikov A.I. *Tendentsii razvitiya operatsionnoy tekhnologii arooseva bespilotnymi letatel'nyimi apparatami v lesovosstanovitel'nom proizvodstve* [Trends aerial seeding operating technology from unmanned aerial vehicles in reforestation]. Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Engineering Journal], 2017, vol. 7, no. 4.
- [65] Sysoev E.P. *Vosstanovlenie lesa aroosevom na kontsentrirrovannykh vyrubkakh v usloviyakh Kirovskoy oblasti*. Avtoref. dis. kand. s.-kh. nauk [Aerial seeding forest restoration on concentrated cuttings in the Kirov region. Extended abstract of candidate's thesis]. Sverdlovsk, 1961. 23 p.

## Authors' information

**Novikov Arthur Igorevitch** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor, Associated Professor of Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov (VSUFT), arthur.novikov@vglta.vrn.ru.

**Kosichenko Nikolay Efimovich** — Dr. Sci. (Biol.), Professor, Chief Research Officer of the Research Department at the Voronezh State University of Forestry and Technologies named after G.F. Morozov (VSUFT), nis@vglta.vrn.ru.

Received 24.01.2018.

Accepted for publication 03.05.2018.

УДК 630.0; 581.481

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-26-33

## СЕЗОННОЕ РАЗВИТИЕ И КАЧЕСТВО СЕМЯН НЕКОТОРЫХ ВИДОВ СЕМЕЙСТВА ACERACEAE JUSS.

И.А. Попкова, **В.В. Петрик**, Н.Н. Васильева

ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, Россия, г. Архангельск, наб. Северной Двины, д. 17

Olupkinairina@yandex.ru

На базе Дендрологического сада им. И.М. Стратоновича проведены: комплексный анализ сезонного развития восьми видов семейства Aceraceae Juss., исследования качественных показателей семян, анализ декоративности данных видов в условиях изменяющегося климата. Составлены перечень видов, успешно прошедших акклиматизацию, и календарный график фенологического развития кленов. Результаты исследований могут быть использованы при составлении перспективного ассортимента инорайонных видов лиственных деревьев, а также при разработке практических рекомендаций по озеленению населенных мест на сухопутных территориях Арктической зоны России.

**Ключевые слова:** Aceraceae Juss., декоративность, фенология, всхожесть, доброкачественность, интродукция

**Ссылка для цитирования:** Попкова И.А., Петрик В.В., Васильева Н.Н. Сезонное развитие и качество семян некоторых видов семейства Aceraceae Juss. // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 26–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-26-33

В условиях города растения помогают укрепить связь человека с природой, создать условия для рекреации, воспитать чувство прекрасного. Они являются неотъемлемым элементом градостроительства, делают город уютным и красивым. Чтобы за счет городских насаждений повысить комфортность городской среды, следует умело подбирать породы для озеленения; деревья должны быть в хорошем состоянии и обладать высокой жизнестойкостью [1].

Для озеленения северных городов применяют и местные, и интродуцированные виды. По данным В.Н. Нилова [2], интродукция древесных растений улучшает условия жизни в городах Европейского Севера России. Работы по продвижению различных растений на Русский Север проводились в Дендрологическом саду им. И.М. Стратоновича с 1934 года [3]. В настоящее время (2018 г.) разработан ассортимент древесных растений, рекомендуемых для озеленения северных городов, но внедрение интродуцентов ограничено из-за нехватки специализированных питомников по выращиванию посадочного материала.

### Цель работы

Цель данной работы — изучение сезонного развития и плодоношения кленов в условиях Дендрологического сада. Для достижения указанной цели необходимо выполнить следующие задачи: провести наблюдения за сезонным развитием изучаемых видов; установить показатели качества семян; дать оценку декоративности исследуемых видов; выявить виды, перспективные для использования в озеленении г. Архангельска; составить рекомендации по внедрению кленов в городскую

среду; определить, какие виды кленов подходят для озеленения населенных мест на сухопутных территориях Арктической зоны России.

### Сезонное развитие изучаемых видов

Для проведения постоянных фенологических наблюдений в 2016 г. были выбраны восемь видов из семейства Aceraceae, произрастающие на территории Дендрологического сада им. И.М. Стратоновича: клен гиннала (*A. ginnala* Maxim.); клен желтый (*A. ukurunduense* Trautv. et Mey.); клен зеленокорый (*A. tegmentosum* Maxim.); клен калифорнийский (*A. californicum* Torr. et Gray Dietz.); клен остролистный (*A. platanoides* L.); клен полевой (*A. campestre* L.); клен татарский (*A. tataricum* L.); клен ясенелистный (*A. negundo* L.). Все латинские названия выверены по С.К. Черепанову [4]. Описание видов дается по П.М. Малаховцу и В.А. Тисовой [3].

1. *Acer ginnala* Maxim. — деревце или высокий кустарник. Места естественного произрастания: Приамурье, Приморье, Корейский полуостров, Северо-Восточный Китай. В возрасте 50 лет имеет высоту 5,5 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м равен 13 см. Балл зимостойкости I–II.

2. *Acer ukurunduense* Trautv. et Mey. — дерево III величины. Места естественного произрастания: Приамурье, Сахалин, Северо-Восточный Китай, Корея, Япония. В возрасте 46 лет имеет высоту 10,5 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м равен 13,5 см. Балл зимостойкости I–II.

3. *Acer tegmentosum* Maxim. — дерево III величины. Места естественного произрастания: Приамурье, Приморье, Корейский полуостров,

Северо-Восточный Китай. В возрасте 50 лет имеет высоту 5,5 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м равен 13 см. Балл зимостойкости II–III.

4. *Acer californicum* Torr. et Gray Dietz. — дерево II величины. Места естественного произрастания: Северная Америка. В возрасте 34 лет имеет высоту 8 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м равен 24 см. Балл зимостойкости I–II.

5. *Acer platanoides* L. — Дерево I величины. Места естественного произрастания: Западная Европа, Европейская часть России. В возрасте 53 лет имеет высоту 14 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м равен 26,5 см. Балл зимостойкости I–II.

6. *Acer campestre* L. — дерево II, III величины. Места естественного произрастания: юг европейской части России, Кавказ, Западная Европа, север Малой Азии, Африка. В возрасте 54 лет имеет высоту 3 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м равен 26,5 см. Балл зимостойкости II–IV.

7. *Acer tataricum* L. — дерево II, III величины. Места естественного произрастания: юг европейской части России, Кавказ, Балканский полуостров, Турция, Иран, южная часть средней Европы. В возрасте 54 лет имеет высоту 3 м, диаметр ствола на высоте 1,3 м равен 26,5 см. Балл зимостойкости II–IV.

8. *Acer negundo* L. — дерево II величины. Места естественного произрастания: Северная Америка. В возрасте 11 лет имеет высоту 5,5 м. Балл зимостойкости I.

Оценку санитарного состояния проводили по методике Малаховца и Тисовой [6]. Материалы фенологических наблюдений представлены в табл. 1.

Из табл. 1 видно, что самые ранние сроки набухания почек — у *A. platanoides* L., *A. tataricum* L. и *A. negundo* L. (29.04–30.04), в период с 04.05

по 06.05 почки набухают у *A. ginnala* Maxim., *A. tegmentosum* Maxim., *A. californicum* Torr. et Gray Dietz., *A. campestre* L. и *A. ukurunduense* Trautv. et Mey.

В фазу «конус листьев» первым вступает *A. tataricum* L. (04.05), затем идут *A. tegmentosum* Maxim., *A. platanoides* L., *A. campestre* L., *A. negundo* L., *A. ukurunduense* Trautv. et Mey. и *A. californicum* Torr. et Gray Dietz (06.05–08.05). Последним в данную фенофазу вступает *A. ginnala* Maxim. (10.05).

Фазу цветения первым проходит *A. californicum* Torr. et Gray Dietz. (30.04–15.05), вторым — *A. negundo* L. (04.05–16.05), в период с 10.05 по 20.05 цветет *A. tegmentosum* Maxim., затем цветут *A. tataricum* L. (10.05–16.05), *A. ginnala* Maxim. (15.05–28.06) *A. platanoides* L. (20.05–05.07), *A. campestre* L. (23.05–05.06), *A. ukurunduense* Trautv. et Mey. (27.05–17.06).

В фазу начала осенней окраски листьев первым вступает *A. ukurunduense* Trautv. et Mey. (15.09), а последним — *A. tataricum* L. (18.10). В фенофазу начала и окончания листопада первым вступает *A. platanoides* L. (05.10–16.10), завершают вступление в фазу *A. campestre* L. и *A. tegmentosum* Maxim. (24.10–28.10).

Итак, все исследованные виды кленов проходят полный цикл сезонного развития, начиная с фенологической фазы набухания почек и заканчивают фенофазой массового листопада, что говорит о приспособлении данных видов к экстремальным условиям Севера. Поскольку для северных регионов особенно важно, насколько быстро растение пройдет все фазы развития, можно рекомендовать *A. tataricum* L., *A. platanoides* L., *A. negundo* L. к более широкому использованию в целях озеленения территории.

Таблица 1

Даты сезонного развития кленов — интродуцентов Дендрологического сада (2016 г.)  
Dates of seasonal development of introduced maple species in dendrological garden (2016)

| Вид клена                                   | Фаза развития   |               |                          |          |       |                   |                                   |          |       |
|---|-----------------|---------------|--------------------------|----------|-------|-------------------|-----------------------------------|----------|-------|
|   | Набухание почек | Конус листьев | Появление первых листьев | Цветение |       | Созревание плодов | Появление осенней окраски листьев | Листопад |       |
|   |                 |               |                          | Начало   | Конец |                   |                                   | Начало   | Конец |
| <i>A. ginnala</i> Maxim.                    | 04.05           | 10.05         | 14.05                    | 15.06    | 28.06 | —                 | 10.10                             | 07.10    | 24.10 |
| <i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Mey.      | 06.05           | 08.05         | 10.05                    | 27.05    | 17.06 | 07.09             | 15.09                             | 09.10    | 20.10 |
| <i>A. tegmentosum</i> Maxim.                | 04.05           | 06.05         | 08.05                    | 10.05    | 20.05 | 19.09             | 20.09                             | 24.10    | 25.10 |
| <i>A. californicum</i> Torr. et Gray Dietz. | 04.05           | 08.05         | 12.05                    | 30.04    | 15.05 | 07.09             | 03.10                             | 17.10    | 26.10 |
| <i>A. platanoides</i> L.                    | 29.04           | 06.05         | 14.05                    | 20.05    | 05.07 | 28.09             | 28.09                             | 05.10    | 16.10 |
| <i>A. campestre</i> L.                      | 04.05           | 06.05         | 10.05                    | 23.05    | 5.06  | —                 | 06.10                             | 24.10    | 28.10 |
| <i>A. tataricum</i> L.                      | 29.04           | 04.05         | 10.05                    | 16.06    | 28.06 | 27.09             | 18.10                             | 10.10    | 27.10 |
| <i>A. negundo</i> L.                        | 30.04           | 06.05         | 09.05                    | 04.05    | 16.05 | 16.09             | 05.10                             | 14.10    | 31.10 |

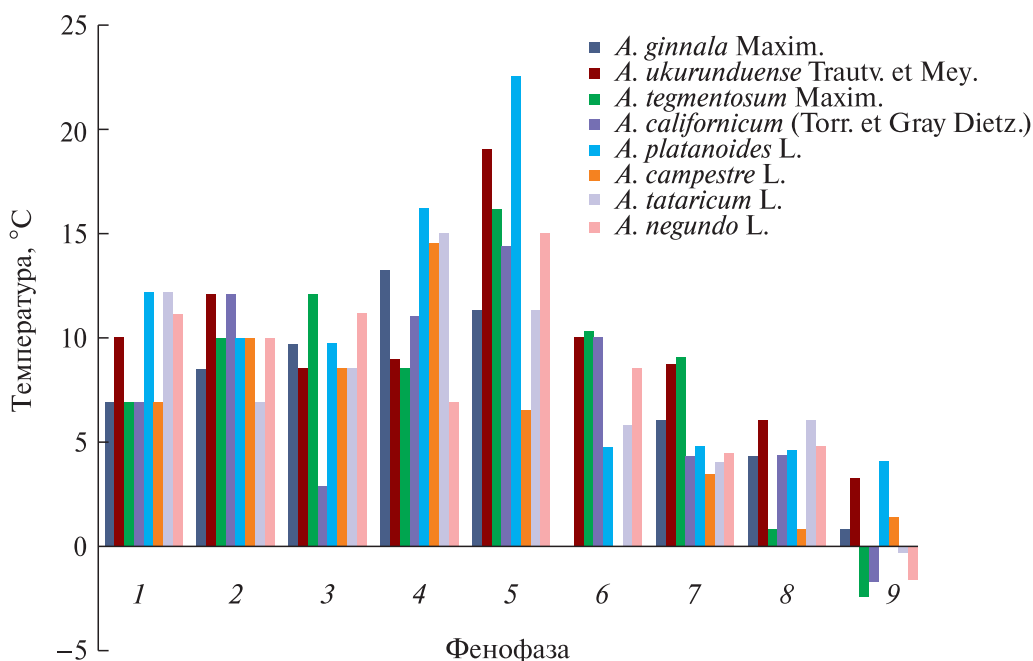
Таблица 2

**Фенологический календарь развития кленов-интродуцентов  
(по данным наблюдений 2016 г.)  
Phenological calendar according to the observations of 2016**

| Вид   | Апрель |   |   | Май |   |   | Июнь |   |   | Июль |   |   | Август |   |   | Сентябрь |   |   | Октябрь |   |   |
|---|--------|---|---|-----|---|---|------|---|---|------|---|---|--------|---|---|----------|---|---|---------|---|---|
|   | Декада |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |
|   | 1      | 2 | 3 | 1   | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1    | 2 | 3 | 1      | 2 | 3 | 1        | 2 | 3 | 1       | 2 | 3 |
| <i>A. ginnala</i> Maxim.                    |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |
| <i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Mey.      |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |
| <i>A. tegmentosum</i> Maxim.                |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |
| <i>A. californicum</i> Torr. et Gray Dietz. |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |
| <i>A. platanooides</i> L.                   |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |
| <i>A. campestre</i> L.                      |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |
| <i>A. tataricum</i> L.                      |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |
| <i>A. negundo</i> L.                        |        |   |   |     |   |   |      |   |   |      |   |   |        |   |   |          |   |   |         |   |   |

*Примечание.*

- набухание почек;
- конус листьев;
- появление первых листьев;
- цветение;
- созревание плодов;
- появление осенней окраски;
- листопад;
- период вегетации растения;
- период покоя.



Зависимость наступления фенофаз от температуры воздуха у кленов-интродуцентов (данные на 2016 г.): 1 — набухание почек; 2 — конус листьев; 3 — появление первых листьев; 4 — начало цветения; 5 — конец цветения; 6 — созревание плодов; 7 — появление осенней окраски; 8 — начало листопада; 9 — конец листопада

The dependence of the onset of phenophases on the air temperature of the introduced maples (data for 2016): 1 — swelling buds; 2 — leaf cone; 3 — appearance of the first leaves; 4 — beginning of flowering; 5 — end of flowering; 6 — fruit ripening; 7 — appearance of the autumn color; 8 — the beginning of leaf fall; 9 — end of leaf fall



Остальные виды требуют дальнейшего изучения. Проведенные в течение года наблюдения за инорайонными лиственными деревьями, позволили составить сравнительную характеристику сезонного развития экзотов в неблагоприятных климатических условиях. Однако более определенные выводы можно будет сделать только при сравнении результатов многолетних наблюдений (10–15 лет).

Определение календарных дат сезонного развития инорайонных лиственных деревьев, а именно начала и окончания вегетации, начала цветения и плодоношения всех изученных видов принесет практическую пользу организациям, занимающимся озеленением городов и населенных пунктов. Результаты исследований помогут при планировании и проведении работ по посадке, уходу и сбору плодов, а также по борьбе с болезнями кустарников.

Все проанализированные фенофазы представлены в табл. 2 в виде фенологического календаря, где каждая фенофаза имеет свое цветовое обозначение. Календарь охватывает полный период вегетации растения и период покоя.

По данным фенологического календаря для каждого вида составлен график зависимости наступления фенофаз от температуры воздуха, зафиксированной в день учета (рисунок).

Как видно из рисунка, сроки вегетации у всех видов примерно одинаковы. Из общего ряда выбиваются лишь отдельные фенофазы. Например, первые листья у *A. californicum* Torr. et Gray Dietz. появляются при довольно низкой температуре (2,9 °C); в фазу «начало листопада» *A. tegmentosum* Maxim. и *A. campestre* L. вступают позже других — в третьей декаде октября, при температуре 0,7 °C; окончание листопада у *A. tegmentosum* Maxim., *A. californicum* Torr. et Gray Dietz., *A. negundo* L. наблюдается в конце октября, при температуре –1,8...–2,6 °C; фаза «конец цветения» позже всех наступает

у *A. platanoides* L., при максимальной для исследуемых видов температуре (22,7 °C).

Важнейшим показателем адаптации интродуцентов к новым условиям является их плодоношение. Семенное размножение позволяет из поколения в поколение повышать устойчивость интродуцентов к неблагоприятным климатическим факторам. Вступление инорайонных пород в фазу плодоношения в условиях Севера происходит позднее, чем в местах естественного обитания [5]. Плодоношение древесных растений находится в качественной и количественной связи с климатическими, почвенно-грунтовыми и световыми условиями. Из исследованных деревьев плодоносили только 78 %.

Изучение семян и особенностей их прорастания позволяет судить о качестве семенного материала и о возможностях его использования для городского озеленения [7]. В ходе работы была исследована доброкачественность семян.

### Определение доброкачественности семян

Применяли методы определения доброкачественности, которые подробно описаны в ГОСТ 13056.8–97 [8]. Доброкачественность устанавливали путем взрезывания у семян с длительным периодом прорастания, т. е. у имеющих глубокий семенной покой. Проведена статистическая обработка результатов (табл. 3), достоверность их доказана [9].

Из всех видов только один — *A. campestre* L. — не плодоносил в период учета. Для более подробного анализа причины отсутствия плодоношения необходимо продолжать наблюдение за данным видом. Высокой доброкачественностью обладают семена *A. tegmentosum* Maxim. (89,0 %), *A. californicum* Torr. et Gray Dietz. (90,5 %), *A. negundo* L. (94,0 %).

Т а б л и ц а 3

Результаты статистической обработки данных о доброкачественности семян  
The results of statistical processing of high quality of seeds

| Вид   | Среднее значение $\chi$ показателя с учетом ошибки среднего значения, % | Среднее квадратичное отклонение $\sigma$ , % | Коэффициент изменчивости $s$ , % | Точность опыта ( $p$ ), % | Достоверность опыта $t$ , % |
|---|---|--|----------------------------------|---------------------------|-----------------------------|
| <i>A. ginnala</i> Maxim.                    | 61,0 ± 4,90   | 4,2  | 14,0                             | 4,9                       | 20,3                        |
| <i>A. tegmentosum</i> Maxim.                | 89,0 ± 5,00   | 7,1  | 7,9                              | 5,6                       | 17,8                        |
| <i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Mey.      | 60,5 ± 3,50   | 5,6  | 5,2                              | 4,7                       | 19,3                        |
| <i>A. californicum</i> Torr. et Gray Dietz. | 90,5 ± 1,50   | 2,1  | 2,3                              | 1,7                       | 60,3                        |
| <i>A. platanoides</i> L.                    | 69,0 ± 3,50   | 3,5  | 4,0                              | 5,7                       | 15,0                        |
| <i>A. campestre</i> L.                      | Не плодоносил в период наблюдений                                       |  |                                  |                           |                             |
| <i>A. tataricum</i> L.                      | 37,0 ± 2,00   | 3,9  | 6,8                              | 4,9                       | 15,3                        |
| <i>A. negundo</i> L.                        | 94,0 ± 2,00   | 2,8  | 3,0                              | 2,1                       | 47,0                        |

Результаты исследований подтверждают вывод В.И. Некрасова [10] о том, что доброкачественность семян — объективный и надежный показатель жизнеспособности растений-интродуцентов.

### Определение декоративности исследуемых видов

Для определения санитарного состояния и декоративности изучаемых видов проводилась их биоэкологическая и ландшафтно-архитектурная оценка.

Биоэкологическая оценка предусматривает определение общего состояния растения. Отличное и хорошее состояние определяется высотой, характерной для изучаемого вида, зимостойкостью растений, отсутствием у них сухих ветвей, нормальным облиствением, цветением, плодоношением, сочной окраской листвы, правильной естественной формой кроны; удовлетворительное состояние — небольшим количеством сухих побегов, слабым цветением, мелкой листвой, отставанием в росте; плохое состояние — наличием сухих и усыхающих ветвей у растений, отсутствием цветения, плохим облиствением, слабой

зимостойкостью, наличием повреждений от действия вредителей или вследствие болезней.

Ландшафтно-архитектурная оценка проводится по показателю декоративности и определяется эстетическими качествами внешних признаков растений: высота растений, форма ствола и ветвей, архитектура кроны, характер облиствения, форма и окраска листьев, цветков, плодов, сезонная декоративность и возрастная изменчивость. Оценка декоративности отдельных экземпляров растений проводится по следующей четырехбалльной шкале [11]:

4 балла — растения отличаются хорошим приростом, развитием и формой кроны, оригинальностью ее строения, яркой и сочной окраской листьев и цветков, благоприятным эмоциональным воздействием;

3 балла — растения сохраняют свой габитус, находятся в хорошем состоянии, имеют хорошо сформированный ствол и ветви кроны;

2 балла — растения с заметным угнетением в росте и развитии, имеются сухие ветви и побеги, ствол поврежден (морозобойные трещины, дуплянки);

Т а б л и ц а 4

### Краткая характеристика кленов для озеленения городов и поселков Архангельской области

#### Brief characteristics of maple trees for landscaping cities and towns in Arkhangelsk region

| Вид   | Применение                                 | Высота, м | Отношение к |       |       | Растения-компаньоны                   | Особенности   |
|---|--|-----------|-------------|-------|-------|---------------------------------------|---|
|   |  |           | свету       | влаге | почве |                                       |   |
| <i>A. ginnala</i> Maxim.                    | Группы                                     | 6         | С           | Тр    | Тр    | Дуб, липа, лиственница, береза, ясень | Быстро растет, хорошо переносит городские условия. Богатые почвы                      |
| <i>A. ukurunduense</i> Trautv. et Mey.      | Группы, одиночные деревья                  | 14        | Т           | Н     | М     | То же                                 | Зимостоек   |
| <i>A. tegmentosum</i> Maxim.                | Группы                                     | 15        | Т           | Тр    | М     | »                                     | Требует дополнительного ухода в формировании кроны                                    |
| <i>A. platanoides</i> L.                    | Рядовые посадки, группы, одиночные деревья | 5–6       | Т           | Тр    | Тр    | »                                     | Недостаточно газоустойчив   |
| <i>A. campestre</i> L.                      | Одиночные деревья, куртины, живые изгороди | 15        | Т           | М     | Тр    | »                                     | Поросль   |
| <i>A. tataricum</i> L.                      | Группы                                     | 5–6       | Т           | М     | М     | »                                     | Переносит уплотнение почвы, копать, негасоустойчив                                    |
| <i>A. californicum</i> Torr. et Gray Dietz. | Группы                                     | 25        | С           | Н     | Н     | »                                     | Быстро растет на песчаных почвах  |
| <i>A. negundo</i> L.                        | Группы                                     | 20        | С           | Н     | Н     | »                                     | Быстро растет, суховершинит, использовать следует в сочетании с долговечными породами |

*Примечание.* Тр — требователен; Н — нетребователен; М — малотребователен; С — светолюбив; Т — теневынослив.

1 балл — растения сильно угнетены, ветви отмирают на 60...70 %, крона сильно деформирована, ствол сильно поврежден, растения не могут восстановить свою жизнедеятельность и должны быть удалены.

Выявлено, что древесные насаждения Дендрологического сада находятся в хорошем состоянии, у них наблюдается небольшое количество сухих ветвей. Механические повреждения возникли из-за снеголома и проводимых на территории сада ремонтных работ. Искривления стволов возникли вследствие недостаточного количества света и густоты древесно-кустарниковых насаждений. Исследуемые растения получили высший балл декоративности.

По результатам проведенных исследований составлены рекомендации по применению рассмотренных видов рода *Acer* в городском озеленении (табл. 4). Графы «Применение» и «Особенности» в табл. 4 заполнены по предложениям Малаховца и Тисовой [3].

Приведенные в табл. 4 данные позволяют смоделировать древесные декоративные группы, создать подходящие условия для насаждений, а также выполнить требуемые виды ухода.

## Выводы

1. Интродуценты очень чувствительны к недостатку тепла. Фенофазы у изученных интродуцентов наступают в различные сроки. Ранняя вегетация у *A. platanoides* L. (29.04), *A. tataricum* L. (29.04), *A. negundo* L. (30.04) говорит о меньшей требовательности к теплу, что немаловажно для климатических условий г. Архангельска.

2. Изученные виды семейства *Aceraceae* Juss. способны образовывать зрелые плоды и семена, что свидетельствует об их успешной интродукции.

3. Изученные виды кленов регулярно плодоносят. Исключение составляют *A. ginnala* Maxim., *A. campestre* L.

4. Доброкачественность семян составляет от 37,0 % (*A. tataricum* L.) до 94,0 % (*A. negundo* L.).

5. Все виды кленов имеют высший балл по шкале декоративности [11].

Проведенные исследования согласуются с данными П.М. Малаховца [6] и позволяют рекомендовать *A. platanoides* L., *A. ukurunduense* Trautv. et Mey., *A. californicum* Torr. et Gray Dietz., *A. ginnala*

Maxim., а при условии дополнительного ухода также *A. tegmentosum* Maxim., *A. campestre* L., *A. negundo* L., и *A. tataricum* L. для зеленого строительства северных городов.

Таким образом, изучение сезонного развития и декоративности лиственных насаждений дендрологического сада им. И.М. Стратоновича, позволило выделить виды, перспективные для озеленения сухопутной Арктической зоны России [12] (на примере озеленения г. Архангельска) и для повышения видового разнообразия существующих городских насаждений.

## Список литературы

- [1] Нилов В.Н. Зимостойкость и отпад древесных интродуцентов в условиях дендрологического сада АИЛиЛХ // Матер. годичной сессии по итогам научно-исследовательских работ за 1979 год. Архангельск: АИЛиЛХ, 1980. С. 7–9.
- [2] Демидова Н.А., Нилов В.Н. Использование методов селекции при интродукции облепихи на Европейский Север // Биология, селекция и агротехника облепихи: Сб. науч. тр. Горьковского с.-х. ин-та. Горький, 1988. С. 62, 63.
- [3] Малаховец П.М., Тисова В.А. Деревья и кустарники дендросада Архангельского государственного технического университета. Архангельск: АГТУ, 1999. 50 с.
- [4] Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб.: Мир и семья-95, 1995. 992 с.
- [5] Булыгин Н.Е., Ярмишко В.Т. Дендрология: учебник. М.: МГУЛ, 2001. 528 с.
- [6] Малаховец П.М. Фенологические наблюдения за сезонным развитием деревьев и кустарников. Архангельск: АГТУ, 1999. 48 с.
- [7] Олупкина И.А., Васильева Н.Н., Петрик В.В. Исследования качества семян семейства Березовые (*Betulaceae* С.А. Agardh.) в городе Архангельске // Экологические проблемы Арктики и северных территорий: Межвуз. сб. науч. тр. Сев. (Аркт.) федер. ун-та им. М.В. Ломоносова / отв. ред. П.А. Феклистов. Архангельск: САФУ, 2017. Вып. 20. С. 158–160
- [8] ГОСТ 13056.8–97. Семена деревьев и кустарников. Метод определения доброкачественности. Введ. 1999-01-01. М.: Изд-во стандартов, 1999. 12 с.
- [9] Дворецкий М.Л. Пособие по вариационной статистике. М.; Л.: Лесная пром-сть, 1971. 104 с.
- [10] Некрасов В.И. Основы семеноведения древесных растений при интродукции. М.: Наука, 1973. 280 с.
- [11] Травникова Г.И. Основы лесопаркового хозяйства: метод. указания по проведению учебной практики и сбору дипломного материала. Архангельск: АГТУ, 1999. С. 63–66.
- [12] Указ Президента Российской Федерации «О сухопутных территориях Арктической зоны Российской Федерации» от 02.05.2014 г. № 296.

## Сведения об авторах

**Попкова Ирина Андреевна** — аспирантка кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов по направлению «Лесное хозяйство», направленность «Агроресомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними», учебный мастер в лаборатории кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов САФУ им. М.В. Ломоносова, Olupkinairina@yandex.ru

**Петрик Виталий Васильевич** — доктор с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой ландшафтной архитектуры и искусственных лесов САФУ им. М.В. Ломоносова, v.petrik@narfu.ru

**Васильева Наталья Николаевна** — кандидат с.-х. наук, заведующая лабораторией кафедры ландшафтной архитектуры и искусственных лесов САФУ им. М.В. Ломоносова, n.vasiljeva@narfu.ru

Поступила в редакцию 10.02.2018.

Принята к публикации 14.08.2018.

## SEASONAL DEVELOPMENT AND QUALITY OF SEEDS OF THE FAMILY ACERACEAE JUSS.

I.A. Popkova, V.V. Petrik, N.N. Vasil'eva

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, 17, Naberezhnaya Severnoy Dviny, Arkhangelsk, 163002, Russia

Olupkinairina@yandex.ru

On the basis of Dendrological garden of the NARFU there was conducted a comprehensive analysis of the seasonal development of the family Aceraceae Juss., qualitative research, seed analysis of the decoration of the studied types of maple trees, dendrological garden of the Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov in the context of changing climate. The aim of this work is the study of seasonal development and fruiting maples in the conditions of the Arboretum NARFU named after M.V. Lomonosov. To achieve the goal we conducted the monitoring of seasonal development of studied species; set the quality parameters of seeds; evaluated the ornamental species; identified promising species for use in landscaping of Arkhangelsk; made recommendations for the implementation of maples in the urban environment; selected promising types of maple trees for landscape gardening of settlements on the land territories of the Arctic zone of the Russian Federation. Elements of scientific novelty are in the integrated analysis of seasonal growth and development, quantitative research, qualitative indicators of the seeds, the analysis of the decoration of the studied species in a changing climate. The list of species of deciduous trees has been successfully completed the acclimatization to their more widespread use. We compiled the calendar of phenology development. The research results can be used to develop the prospective range of an alien species of deciduous trees as well as the creation of practical recommendations on landscaping populated areas on the land territories of the Arctic zone. The reliability of the research findings is supported by sufficient volume of experimental material processed using modern statistical analysis methods and modern software. The received data is processed by modern statistical methods with accuracy and reliability.

**Keywords:** Aceraceae Juss., decorative, phenology, germination, purity, introduction

**Suggested citation:** Popkova I.A., Petrik V.V., Vasil'eva N.N. *Sezonnoe razvitie i kachestvo semyan nekotorykh vidov semeystva Aceraceae Juss.* [Seasonal development and quality of seeds of the family Aceraceae Juss.]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 26–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-26-33

## References

- [1] Nilov V.N. *Zimostoykost' i otpad drevesnykh introdutsentov v usloviyakh dendrologicheskogo sada AILiLKh* [Winter hardiness and fall of wood introducents in the conditions of the dendrological garden of AILiLH]. *Materialy godichnoy sessii po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot za 1979 god* [Materials of the annual session on the results of scientific research work for 1979]. Arkhangelsk: AILiLKh, 1980, pp. 7–9.
- [2] Demidova N.A., Nilov V.N. *Ispol'zovanie metodov selektsii pri introduktsii oblepikhi na Evropeyskiy Sever* [Use of selection methods for the introduction of sea-buckthorn to the European north]. *Biologiya, selektsiya i agrotehnika oblepikhi: Sb. nauch. tr. Gor'kovskogo s.-kh. in-ta.* [Biology, selection and agrotechnics of sea-buckthorn: Sat. sci. tr. Gor'ky Agricultural Sciences Institute]. Gorky, 1988, pp. 62, 63.
- [3] Malakhovets P.M., Tisova V.A. *Derev'ya i kustarniki dendrosada Arkhangel'skogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Trees and shrubs of the arboretum of Arkhangelsk State Technical University]. Arkhangelsk: AGTU, 1999, 50 p.
- [4] Cherepanov S.K. *Sosudistye rasteniya Rossii i soprodel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)* [Vascular plants of Russia and neighboring countries (within the former USSR)]. Saint Petersburg: Mir i sem'ya-95 [World and family-95], 1995, 992 p.
- [5] Bulygin N.E., Yarmishko V.T. *Dendrologiya* [Dendrology]. Moscow: MGUL, 2001, 528 p.
- [6] Malakhovets P.M. *Fenologicheskie nablyudeniya za sezonnym razvitiem derev'ev i kustarnikov* [Phenological observations of the seasonal development of trees and shrubs]. Arkhangelsk: AGTU, 1999, 48 p.



- [7] Olupkina I.A., Vasil'eva N.N., Petrik V.V. *Issledovaniya kachestva semyan semeystva Berezovye (Betulaceae C.A. Agardh.) v gorode Arkhangel'ske* [Investigations of the quality of seeds of the family Berezovye (Betulaceae C.A. Agardh.) in the city of Arkhangelsk]. *Ekologicheskie problemy Arktiki i severnykh territoriy: Mezhvuzovskiy sbornik nauchnykh trudov Sev. (Arkt.) feder. un-ta im. M.V. Lomonosova* [Ecological problems of the Arctic and northern territories: intercollegiate collection of scientific works of Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov]. Ed. P.A. Feklistov. Arkhangelsk: SAFU, 2017, iss. 20, pp. 158–160.
- [8] *GOST 13056.8–97. Semena derev'ev i kustarnikov. Metod opredeleniya dobrokachestvennosti* [GOST 13056.8–97. Seeds of trees and shrubs. Method of determining good quality. Enter. 1999-01-01]. Moscow: *Izd-vo standartov* [Publishing Standards], 1999, 12 p.
- [9] Dvoretzkiy M.L. *Posobie po variatsionnoy statistike* [Handbook on variational statistics]. Moscow, Leningrad: *Lesnaya promyshlennost'* [Forest Industry], 1971, 104 p.
- [10] Nekrasov V.I. *Osnovy semenovedeniya drevesnykh rasteniy pri introduktsii* [Fundamentals of seed production of woody plants during introduction]. Moscow: Nauka, 1973, 280 p.
- [11] Travnikova G.I. *Osnovy lesoparkovogo khozyaystva: metodicheskie ukazaniya po provedeniyu uchebnoy praktiki i sboru diplomnogo materiala* [Basics of forest park economy: methodical instructions for the conduct of training practice and the collection of diploma material]. Arkhangelsk: AGTU, 1999, pp. 63–66.
- [12] *Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii «O sukhoputnykh territoriyakh Arkticheskoy zony Rossiyskoy Federatsii» ot 02.05.2014 g. № 296* [Decree of the President of the Russian Federation «On land territories of the Arctic zone of the Russian Federation» of 02.05.2014, no. 296].

## Authors' information

**Popkova Irina Andreevna** — postgraduated student of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests in the direction of forestry, the focus of agroforestry and protective afforestation and settlement gardening, forest fires and struggle with them at the NARFU them. M.V. Lomonosov, Olupkinairina@yandex.ru

**Petrik Vitaliy Vasil'evich** — Dr. Sci. (Agriculture), Professor, Head of Department of Landscape Architecture and Artificial Forests at the NARFU them. M.V. Lomonosov, v.petrik@narfu.ru

**Vasil'eva Natal'a Nikolaevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Head of Laboratory of the Department of Landscape Architecture and Artificial Forests at the NARFU them. M.V. Lomonosov, n.vasiljeva@narfu.ru

Received 10.02.2018.

Accepted for publication 14.08.2018.

УДК 595.76

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-34-41

## ФАУНА КОРОЕДОВ (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) ТЕЛЛЕРМАНОВСКОГО ОПЫТНОГО ЛЕСНИЧЕСТВА ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.Н. Штапова, А.В. Петров

ФГБУН «Институт лесоведения РАН» (ИЛАН РАН), 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, д. 21

shiningsun.shtapi@gmail.com

Продолжено исследование фауны короедов Прихопёрья в Воронежской области. Исследования проводились в нагорных дубово-ясеневых лесах Теллермановского опытного лесничества. В лесных сообществах лесничества обнаружен 31 вид подсемейства Scolytinae (Coleoptera, Curculionidae). На территории Теллермановского опытного лесничества обнаружен инвазивный вид *Xyleborinus attenuatus* (Blandford, 1894). Выявлены фенологические особенности отдельных видов короедов на обследованной территории. Приведен список короедов с указанием кормовых пород. Начато изучение закономерностей формирования ассоциативных комплексов короедов с патогенными микроорганизмами.

**Ключевые слова:** короеды, Curculionidae, Scolytinae, нагорные дубравы, Прихоперье, Воронежская область

**Ссылка для цитирования:** Штапова Н.Н., Петров А.В. Фауна короедов (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Теллермановского опытного лесничества Воронежской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 34–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-34-41

Ксилофильные насекомые являются неотъемлемой частью лесных биоценозов. Изучение закономерностей развития дендробионтов, их биологических и экологических особенностей необходимо для определения их значения как для отдельных пород деревьев, так и для экосистем в целом.

### Цель работы

Цель работы — продолжить исследование фауны короедов Прихопёрья в Воронежской области в нагорных дубово-ясеневых лесах Теллермановского опытного лесничества (ТОЛ); определить видовой состав короедов (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) в лесных экосистемах ТОЛ; выявить инвазивные виды короедов в лесных экосистемах ТОЛ, спрогнозировать потенциальную угрозу насаждениям от инвайдеров.

### Материалы и методы

В настоящей работе объект исследования — виды подсемейства Scolytinae (Coleoptera: Curculionidae), обитающие на территории Теллермановского опытного лесничества.

Фауну короедов лесов лесостепной зоны европейской части России изучают давно. В публикациях Э.Б. Пржитульской [1], В.Н. Старка [2], А.И. Воронцова с соавт. [3], Гурьяновой Т.М. [4], Г.В. Линдемана [5–10], А.Н. Володченко [11, 12] приведены фаунистические списки подсемейства Scolytinae в районах Среднего Прихопёрья с указанием кормовых растений. Авторы настоящей работы изучали фаунистический состав короедов в лесах лесостепной зоны европейской части России

в лесных экосистемах Теллермановского опытного лесничества в период с 2013 по 2018 г.

Сбор энтомологического материала проводили с помощью оконных ловушек и ручным методом. Для изучения времени начала и продолжительности лёта короедов, а также для сбора фауны других ксилофильных насекомых использовали оконные ловушки оригинальной конструкции А.В. Петрова. Ловушку, состоящую из четырех соединенных пластиковой пружиной прозрачных листов формата А3 или А4 (размер зависит от расположения ловушки — на дереве или рядом с ним), по периметру окружали проволочным кольцом, продетым через отверстия в нижней части листов. С помощью скрепок прикрепляли конический пластиковый мешок. Фиксирующей жидкостью служил 96%-ный спирт. Ловушки располагали на высоте 0,5...4 м над землей. Выемку пойманных насекомых осуществляли два раза в день с фиксацией времени сборов. Данный тип ловушки успешно применяется для изучения фауны и фенологии короедов в России и других странах [13].

Было 16 модельных деревьев, на которых проводили тотальный учет поселений короедов от комлевой части до вершины. На вырубках использовали ловчие отрубки диаметром 0,1...0,6 м, длиной 0,5...1,0 м.

Фотосъемку габитуса короедов осуществляли фотокамерой Canon EOS 50D с использованием фотообъектива MP-e65.

Цель изучения комплекса короедов: — определение видового состава короедов (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) в лесных экосистемах ТОЛ;

– выявление инвазийных видов короедов в лесных экосистемах ТОЛ, прогнозирование потенциальной угрозы насаждениям от вселенцев.

Сбор материала проводили в нагорных дубово-ясеневых лесах с участием липы, клена остролистного, ильма, клена полевого, произрастающих на темно-серых лесных почвах. Модельные деревья и постоянные пробные площади располагались в точках с координатами 51°19′ сев. широты 41°58′ вост. долготы, 51°20′ сев. широты 42°00′ вост. долготы и 51°20′ сев. широты 41°58′ вост. долготы, на высоте 100...200 м над уровнем моря.

Древесный ярус лесной растительности ТОЛ формируют четыре основных вида: ясень обыкновенный, дуб черешчатый, липа мелколистная, клен остролистный (рис. 1). Осина образует устойчивые монодоминантные насаждения на небольших площадях нагорного леса. Вяз гладкий до усыхания вязовников в 1965–1975 гг. был доминантой многих выделов в пойме и по дну балок. Остальные виды древесных, из которых наиболее массовый – клен полевой, облигатно занимают подчиненные ярусы или образуют временные древостои демутиационных и первичных сукцессий [14].

В фаунистическом списке А.Н. Володченко [11, 12] для лесов Среднего Прихопёрья приводится 45 видов, которые развиваются на хвойных и лиственных породах. На территории ТОЛ хвойные деревья отсутствуют и фаунистический состав менее разнообразен. Необходимо отметить ошибки в названиях таксонов, приведенных в списке А.Н. Володченко: *Scolytus ensifer* Eichhoff, 1881 (syn. *Scolytus encipher* Eichhoff, 1881), *Trypophloeus tremula* (syn. *T. asperatus* (Gyllenhal, 1813) [11].

## Результаты и обсуждение

По нашим данным и по литературным источникам, фауна короедов лесов Теллермановского опытного лесничества включает 31 вид, жуки относятся к 12 родам семи триб Scolytinae (таблица). Энтомологический материал определялся А.В. Петровым. Названия видов короедов приведены в соответствии с каталогом S.L. Wood и D.E. Bright [15] и списком палеарктических короедов M. Knížek [16].

## Выводы

Большинство Scolytinae фауны Теллермановского опытного лесничества относится к трофической группе флеоксилофагов — 23 вида (74 %), группа ксиломицетофагов насчитывает 8 видов (26 %).



Рис. 1. Дубово-ясеневый лес Теллермановского опытного лесничества (фото А.В. Петрова)

Fig. 1. Oak-ash wood of the Tellerman experimental forest district (photo by AV Petrov)

Подавляющее большинство видов короедов фауны Теллермановского опытного лесничества имеют одногодную генерацию. *Hylesinus varius* (Fabricius, 1775) (рис. 2), *Scolytus multistriatus* (Marshall, 1802) могут иметь две генерации в год. Период развития *Hylesinus crenatus* (Fabricius, 1787) (рис. 3) составляет полтора года [19].

Все виды короедов аборигенной фауны имеют обширные европейские ареалы. Для *Scolytus koenigi* (Schevyrew, 1890) (рис. 4), *Phloeotribus caucasicus* (Reitter, 1891), *Xyleborus monographus* (Fabricius, 1792) и *X. pfeilii* (Ratzeburg, 1837) леса Прихопёрья являются северной границей распространения. Для Теллермановского опытного лесничества *Phloeotribus caucasicus* (Reitter, 1891) отмечен только Г.В. Линдеманом [9]. Позже этот вид в лесах Воронежской и Самарской областей не находили.

На территории Теллермановского опытного лесничества обнаружен инвазийный вид *Xyleborinus attenuatus* (Blandford, 1894). Первоначально ареал этого вида охватывал территорию Дальнего Востока в России, Южную Корею, о. Тайвань и Японию. В конце XX в. короед был завезен в Европу. Впервые в насаждениях Теллермановского опытного лесничества найден в 2016 г. М.Ю. Мандельштамом на дубе черешчатом [18]. Повторные находки на территории лесничества сделаны А.В. Петровым в 2017 г. на стволах дуба черешчатого и клена остролистного. *X. attenuatus* является ксиломицетофильным видом, развивается на усыхающих деревьях. Этот вид отмечался на территории западных районов России, в Московской области и на Украине [18, 20–22]. В настоящее время (2017 г.) на территории Теллермановского опытного лесничества встречается редко и лесохозяйственного значения не имеет.

**Фаунистический состав семейства Scolytinae  
на территории Теллермановского опытного лесничества  
The faunistic composition of the Scolytinae family in the territory of Tellerman experimental forest district**

| № п/п                             | Вид  | Кормовая порода  | Литературный источник | Сборщики   |
|-----------------------------------|--|--|-----------------------|--|
| Триба Cryphalini Lindemann, 1876  |  |  |                       |  |
| Род Egnoporus C.G. Thomson, 1859  |  |  |                       |  |
| 1                                 | <i>E. tiliae</i> (Panzer, 1793)            | <i>Tilia cordata</i>   | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Петров А.В., Штапова Н.Н.                               |
| Род Trypophloeus Fairmaire, 1864  |  |  |                       |  |
| 2                                 | <i>T. alni</i> (Lindemann, 1875)           | <i>Alnus glutinosa</i>   | Не приводился         | Петров А.В.  |
| 3                                 | <i>T. binodulus</i> (Ratzeburg, 1837)      | <i>Populus</i> sp.   | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В.,   |
| Триба Dryocoetini Lindemann, 1876 |  |  |                       |  |
| Род Dryocoetes Eichhoff, 1864     |  |  |                       |  |
| 4                                 | <i>D. villosus</i> (Fabricius, 1792)       | <i>Quercus robur</i>   | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Петров А.В.   |
| Род Lymanator Loevendal, 1889     |  |  |                       |  |
| 5                                 | <i>L. aceris</i> (Lindemann, 1875)         | <i>Prunus padus</i> , <i>Acer</i> sp.                                | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Петров А.В.   |
| 6                                 | <i>L. coryli</i> (Perris, 1855)            | <i>Acer</i> sp., <i>Corylus avellana</i> , <i>Prunus padus</i>       | »                     | Линдеман Г.В.  |
| Триба Hylesinini Erichson, 1836   |  |  |                       |  |
| Род Hylesinus Fabricius, 1801     |  |  |                       |  |
| 7                                 | <i>H. crenatus</i> (Fabricius, 1787)       | <i>Fraxinus excelsior</i>  | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В., Штапова Н.Н. |
| 8                                 | <i>H. toranio</i> (D'Anthoine, 1788)       | »  | »                     | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Петров А.В., Штапова Н.Н.             |
| 9                                 | <i>H. varius</i> (Fabricius, 1775)         | »  | »                     | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В., Штапова Н.Н. |
| Род Pteleobius Bedel, 1888        |  |  |                       |  |
| 10                                | <i>P. vittatus</i> (Fabricius, 1792)       | <i>Ulmus laevis</i>  | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В.  |
| Триба Phloeotribini Chapuis, 1869 |  |  |                       |  |
| Род Phloeotribus Latreille, 1797  |  |  |                       |  |
| 11                                | <i>Ph. caucasicus</i> (Reitter, 1891)      | <i>Fraxinus excelsior</i>  | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В.  |
| Триба Scolytini Latreille, 1804   |  |  |                       |  |
| Род Scolytus Geoffroy, 1762       |  |  |                       |  |
| 12                                | <i>S. ensifer</i> (Eichhoff, 1881)         | <i>Ulmus laevis</i>  | [8, 9, 11, 17]        | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В., Штапова Н.Н. |
| 13                                | <i>S. intricatus</i> (Ratzeburg, 1837)     | <i>Quercus robur</i>   | [8, 9, 11]            | То же  |
| 14                                | <i>S. kirschii</i> (Skalitzky, 1876)       | <i>Ulmus laevis</i>  | [8, 9, 11, 17]        | Линдеман Г.В., Петров А.В.   |
| 15                                | <i>S. koenigi</i> (Schevyrew, 1890)        | <i>Acer platanoides</i>  | Не приводился         | Мандельштам М.Ю., Петров А.В.  |
| 16                                | <i>S. laevis</i> (Chapuis, 1869)           | <i>Ulmus laevis</i>  | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В.  |
| 17                                | <i>S. mali</i> (Bechstein, 1805)           | <i>Malus</i> sp.   | »                     | Линдеман Г.В., Петров А.В.   |
| 18                                | <i>S. multistriatus</i> (Marsham, 1802)    | <i>Ulmus laevis</i>  | [8, 9, 11, 17]        | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В., Штапова Н.Н. |
| 19                                | <i>S. pygmaeus</i> (Fabricius, 1787)       | »  | »                     | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В.               |
| 20                                | <i>S. ratzeburgi</i> (E.W. Janson, 1856)   | <i>Betula</i> sp.  | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Петров А.В., Штапова Н.Н.                               |
| 21                                | <i>S. rugulosus</i> (P.W.J. Mueller, 1818) | <i>Malus</i> sp., <i>Padus avium</i> , <i>Sorbus aucuparia</i>       | »                     | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В.               |
| 22                                | <i>S. scolytus</i> (Fabricius, 1775)       | <i>Ulmus laevis</i>  | [7–9, 11, 17]         | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В., Штапова Н.Н. |
| 23                                | <i>S. sulcifrons</i> Rey, 1892             | <i>Ulmus laevis</i>  | »                     | То же  |
| Триба Xyloterini Le Conte, 1876   |  |  |                       |  |
| Род Trypodendron Stephens, 1830   |  |  |                       |  |
| 24                                | <i>T. domesticum</i> (Linnaeus, 1758)      | <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Quercus robur</i>                        | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Петров А.В.   |
| 25                                | <i>T. signatum</i> (Fabricius, 1792)       | <i>Tiliae glutinosa</i> , <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Betula</i> sp. | »                     | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В., Штапова Н.Н. |



Окончание таблицы

| № п/п                           | Вид                                       | Кормовая порода  | Литературный источник | Сборщики   |
|---------------------------------|---|--|-----------------------|--|
| Триба Xyleborini Le Conte, 1876 |   |  |                       |  |
| Род Anisandrus Ferrari, 1867    |   |  |                       |  |
| 26                              | <i>A. dispar</i> (Fabricius, 1792)        | <i>Acer</i> sp., <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Populus</i> , <i>Quercus robur</i> , <i>Malus</i> sp. | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В., Штапова Н.Н. |
| Род Xyleborinus Reitter, 1913   |   |  |                       |  |
| 27                              | <i>X. attenuatus</i> (Blandford, 1894)    | <i>Acer</i> sp., <i>Quercus robur</i>  | [18]                  | Мандельштам М.Ю., Петров А.В.  |
| 28                              | <i>X. saxeseni</i> (Ratzeburg, 1837)      | <i>Alnus glutinosa</i> , <i>Quercus robur</i>  | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Мандельштам М.Ю., Перов В.В., Петров А.В., Штапова Н.Н. |
| Род Xyleborus Eichhoff, 1864    |   |  |                       |  |
| 29                              | <i>X. cryptographus</i> (Ratzeburg, 1837) | <i>Populus</i> sp.   | [8, 9, 11]            | Линдеман Г.В., Петров А.В.   |
| 30                              | <i>X. monographus</i> (Fabricius, 1792)   | <i>Quercus robur</i>   | »                     | »  |
| 31                              | <i>X. pfeilii</i> (Ratzeburg, 1837)       | <i>Alnus glutinosa</i>   | Не приводился         | Петров А.В.  |



**Рис. 2.** Пестрый ясеневый лубоед *H. varius* (Fabricius, 1775) (самец)  
**Fig. 2.** Motley ash tree Luboyed *H. varius* (Fabricius, 1775) (male)



**Рис. 3.** Большой ясеневый лубоед *H. crenatus* (Fabricius, 1787) (самка)  
**Fig. 3.** Large ash tree beetle *H. crenatus* (Fabricius, 1787) (female)



**Рис. 4.** Кленовый заболонник *Scolytus koenigi* (Schevyrew, 1890) (самец)  
**Fig. 4.** Maple Sapling *Scolytus koenigi* (Schevyrew, 1890) (male)



**Рис. 5.** Западный ильмовый заболонник *S. sulcifrons* (Rey, 1892) (самец)  
**Fig. 5.** Western elm sapwood *S. sulcifrons* (Rey, 1892) (male)

Особое внимание авторы уделили изучению фенологии и биологических особенностей комплекса вязовых заболонников. Сроки лёта и развития потомства отдельных видов *Scolytus*, развивающихся на вязе, сильно различаются. Жуки *Scolytus multistriatus* (Marsham, 1802), *S. pygmaeus* (Fabricius, 1787), *S. scolytus* (Fabricius, 1775) и *S. sulcifrons* Rey, 1892 (рис. 5) в Теллермановском опытном лесничестве заселяют деревья с конца мая. Дополнительное питание жуков предшествует началу построения маточных ходов самками заболонников. Самки откладывают яйца в маточных ходах не одновременно: первые яйца откладываются в нижней части маточного хода и личинки из них появляются на 7–16 дней раньше, чем в верхней части хода. Такое расхождение в сроках развития мы наблюдали в длинных развитых ходах заболонников на усыхающих деревьях. В верхней части маточного хода яйца откладывались значительно позже, и личинки отставали в развитии на 2–3 недели. Личинки в нижней части ходов заканчивали развитие за 33–47 дней и окукливались с третьей декады июля по первую декаду августа. Молодые жуки, появившиеся в августе, заселяли ослабленные и усыхающие деревья вяза. Личинки в верхней части ходов уходили на зимовку и окукливались в первой-второй декадах мая.

В годы, когда температура в мае–июле была достаточно высокой, отмечалось завершение развития всего потомства *S. multistriatus* во второй декаде августа. До второй декады сентября молодые жуки заселяли побеги и зимовали личинки первых возрастов. В этом случае можно говорить о частичной второй генерации заболонника в отдельные годы.

Фенология *S. ensifer* (Eichhoff, 1881), *S. kirschii* (Skalitzky, 1876) и *S. laevis* (Chapuis, 1869) отличается более поздними сроками лёта жуков — со второй декады июня по вторую декаду июля. Единичные личинки этих видов заканчивали развитие и окукливались во второй декаде августа. Очень редко молодых жуков наблюдали в первой декаде сентября. Подавляющее большинство (95 %) личинок поздних возрастов этих видов заболонников зимует. Окукливание происходило в первой декаде июня.

Вязовые заболонники (*Scolytus multistriatus* и *S. pygmaeus*) являются переносчиками патогенных микроорганизмов, вызывающих сосудистые заболевания вяза гладкого [17, 23]. Вопросам переноса патогенной микобиоты короедами рода *Scolytus* будут посвящены наши отдельные публикации.

*Авторы выражают признательность директору Теллермановского опытного лесничества — Чеботаревой Валентине Васильевне, заместителю директора — Чеботареву Павлу Анатольевичу и всем сотрудникам лесничества за помощь в проведении исследований.*

*Работа поддержана грантом РФФИ 17-04-00360.*

## Список литературы

- [1] Пржитульская Э.Б. Вредные лесные насекомые Хоперского государственного заповедника // Труды Хоперского заповедника, 1940. Вып. 1. С. 245–283.
- [2] Старк В.Н. Короеды // Фауна СССР. Жесткокрылые / ред. М. Старк. М.; Л.: Наука, 1952. Т. 31. 461 с.
- [3] Воронцов А.И., Гурьянова Т.М., Мозолевская Е.Г. Обзор вредных лесных насекомых Хоперского заповедника // Труды Хоперского заповедника, 1961. Вып. 4. С. 47–74.
- [4] Гурьянова Т.М. О роли стволовых вредителей в развитии очагов голландской болезни // Труды Хоперского заповедника, 1961. Вып. 4. С. 105–121.
- [5] Линдеман Г.В. Заселение ильмовых пород стволовыми вредителями в очагах голландской болезни в Теллермановском лесу Воронежской области // Вопросы лесозащиты, 1963. Т. II. С. 59–61.
- [6] Линдеман Г.В. Об экологии и распространении некоторых малоизученных насекомых лесостепной зоны // Зоологический журнал, 1963. Т. XLII. Вып. 9. С. 1363–1369.
- [7] Линдеман Г.В. К биологии *Scolytus sulcifrons* Rey (Coleoptera: Iridae) // Зоологический журнал, 1963. Т. XLII. Вып. 10. С. 1582–1584.
- [8] Линдеман Г.В. Заселение стволовыми вредителями лиственных пород в дубравах лесостепи в связи с их ослаблением и отмиранием (на примере Теллермановского леса) // Защита леса от вредных насекомых / ред. П.М. Рафес. М.: Наука, 1964. С. 58–118.
- [9] Линдеман Г.В. Заселение стволовыми вредителями лиственных пород в связи с их ослаблением и отмиранием в дубравах лесостепи (на примере Теллермановского леса): Автореф. дис. ... канд. биол. наук. М., 1965. 16 с.
- [10] Линдеман Г.В. Заселение дуба стволовыми вредителями в связи с ослаблением и отмиранием в дубравах лесостепи (на примере Теллермановского леса) // Влияние животных на продуктивность лесных биогеоценозов / ред. П.М. Рафес. М.: Наука, 1966. С. 75–96.
- [11] Володченко А.Н. Итоги изучения фауны короедов Среднего Прихопёрья // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2011. Вып. 196. С. 109–117.
- [12] Володченко А.Н. К познанию ксилобионтных жесткокрылых Хоперского государственного природного заповедника // Научные труды Национального парка «Хвалынский»: Матер. III Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Саратов, Национальный парк «Хвалынский» 13–14 октября 2016 г. Саратов: Амирит, 2016. Вып. 8. С. 122–126.
- [13] Nikulina T.V., Mandelshtam M.Yu., Petrov A.V., Nazarenko V.Yu., Yunakov N.N. A survey of the weevils of Ukraine. Bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae: Platypodinae and Scolytinae) // Zootaxa, 2015, v. 3912 (1), 61 p.

- [14] Экосистемы Теллермановского леса / М.Г. Романовский, В.В. Мамаев, Н.Н. Селочник, Ю.А. Гопиус, Н.Г. Жиренко, Н.К. Кондрашова, В.В. Рубцов, И.А. Уткина; отв. ред. В.В. Осипов. М.: Наука, 2004. 340 с.
- [15] Wood S.L., Bright D.E. A Catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera). Part 2: Taxonomic Index // Great Basin Naturalist Memoirs, 1992, v. 13, pp. 1–1553.
- [16] Křížek M. Scolytinae and Platypodinae // Catalog of Palearctic Coleoptera / Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup: Apollo Books, 2011, v. 7, pp. 86–87, 201–251.
- [17] Петров А.В., Доставалов Е.А. Изменение агрессивности короедов (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), ассоциированных с патогенными микроорганизмами // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2015. Вып. 211. С. 76.
- [18] Мандельштам М.Ю. К познанию чужеродных короедов (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) европейской части России // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: Матер. Второй междунар. науч.-техн. конф. Санкт-Петербург, Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова, 24–26 мая 2017 г. / ред. В.М. Гедьо. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. Т. 3. С. 142–144.
- [19] Petrov A.V. A key to genera and species of the tribe Hylesinini Erichson, 1836 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) from Russia and adjacent countries // Russian Entomological Journal, 2018, v. 27, no.2, pp. 179–189.
- [20] Никулина Т.В. Новые и интересные находки жуков-короедов (Coleoptera, Scolytidae) на территории Украины // Проблемы и перспективы общей энтомологии: Тез. докл. XIII съезда Русского энтомологического об-ва. Краснодар, Кубанский государственный аграрный университет, 9–15 сентября 2007 г. М.: Редакция журнала «Защита и карантин растений», С. 257, 258.
- [21] Никулина Т.В., Мартынов В.В., Мандельштам М.Ю. *Xyleborinus alni* (Niisima, 1909) — новый вид жуков-короедов (Coleoptera, Scolytidae) в фауне Украины и европейской части России // Вестник зоологии, 2007. Т. 41 (6). С. 542.
- [22] Петров А.В., Никитский Н.Б. Короеды (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) городских насаждений Москвы // Экология урбанизированных территорий, 2016. № 3. С. 88–94.
- [23] Никитский Н.Б. Новые и интересные находки ксилофильных и некоторых других видов жесткокрылых насекомых (Coleoptera) в Московской области // Бюл. Моск. об-ва испытателей природы. Отдел биологический, 2009. Т. 114. Вып. 5. С. 49–57.

## Сведения об авторах

**Штапова Наталья Николаевна** — аспирантка ФГБУН «Институт лесоведения» РАН, shiningsun.shtapi@gmail.com

**Петров Александр Валентинович** — канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории лесной зоологии ФГБУН «Институт лесоведения» РАН, hylesinus@list.ru

Поступила в редакцию 08.07.2018.

Принята к публикации 13.08.2018.

## FAUNA OF BARK BEETLES (COLEOPTERA: CURCULIONIDAE: SCOLYTINAE) TELLERMANOVSKY FOREST FIELD STATION OF THE VORONEZH REGION

N.N. Shtapova, A.V. Petrov

Institute of Forest Science RAS, 21, Sovetskaya st., village Uspenskoe, Odintsovo district, 143030, Moscow reg., Russia

shiningsun.shtapi@gmail.com

The study of fauna of bark beetles in the forests of the Koper River area in Voronezh region was continued. The work was carried out in the mixed oak and ash forest of Tellerman experimental forest district. In the territory of experimental forest district 31 species of Scolytinae (Coleoptera, Curculionidae) were collected. The list of bark beetles with their host trees is provided. Phenology of some species of bark beetles in mixed oak and ash forest were studied. Invader species *Xyleborinus attenuatus* (Blandford, 1894) was collected in the territory of Tellerman forest field station for the first time. Formation of symbiotic associations of some species of Scolytinae with pathogenic organisms was studied on the example of elm bark beetles.

**Keywords:** bark beetles, Curculionidae, Scolytinae, broad-leaved oak forests, Koper river region, Voronezh region

**Suggested citation:** Shtapova N.N., Petrov A.V. *Fauna koroedov (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Tellermanovskogo opytnogo lesnichestva Voronezhskoy oblasti* [Fauna of bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) Tellermanovsky forest field station of the Voronezh region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 34–41. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-34-41

### References

- [1] Przhitul'skaya E.B. *Vrednye lesnye nasekomye Khoperskogo gosudarstvennogo zapovednika* [Harmful forest insects of the Koper State Reserve], *Trudy Khoperskogo zapovednika* [Proceedings of the Kopersky Reserve], 1940, iss. 1, pp. 245–283.
- [2] Stark V.N. *Koroedy* [Bark beetles]. *Fauna SSSR, Zhestkokrylye* [Fauna of the USSR, Coleoptera]. Ed. M. Stark. Moscow; Leningrad: Science, 1952, v. 31, 461 p.
- [3] Vorontsov A.I., Guryanova T.M., Mozolevskaya E.G. *Obzor vrednykh lesnykh nasekomykh Khoperskogo zapovednika* [An overview of harmful forest insects of the Kopersky Reserve]. *Trudy Khoperskogo zapovednika* [Proceedings of the Kopersky Reserve], 1961, iss. 4, pp. 47–74.
- [4] Gur'yanova T.M. *O roli stvolovykh vreditel'ey v razvitii ochagov gollandskoy bolezni* [On the role of stem pests in the development of foci of Dutch disease]. *Trudy Khoperskogo zapovednika* [Proceedings of the Kopersky Reserve], 1961, iss. 4, pp. 105–121.
- [5] Lindeman G.V. *Zaselenie il'movykh porod stvolovymi vreditel'ymi v ochagakh gollandskoy bolezni v Tellermanovskom lesu Voronezhskoy oblasti* [Population of elm species by stem pests in the foci of Dutch disease in the Tellerman Forest of the Voronezh Region]. *Voprosy lesozashchity* [Forest Protection Issues], 1963, v. II, pp. 59–61.
- [6] Lindeman G.V. *Ob ekologii i rasprostraneniі nekotorykh maloizuchennykh nasekomykh lesostepnoy zony* [On the ecology and distribution of some poorly studied insects of the forest-steppe zone]. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological Journal], 1963, v. XLII, iss. 9, pp. 1363–1369.
- [7] Lindeman G.V. *K biologii Scolytus sulcifrons Rey (Coleoptera: Ipidae)* [To the biology of Scolytus sulcifrons Rey (Coleoptera: Ipidae)]. *Zoologicheskii zhurnal* [Zoological Journal], 1963, v. XLII, iss. 10, pp. 1582–1584.
- [8] Lindeman G.V. *Zaselenie stvolovymi vreditel'ymi listvennykh porod v dubravakh lesostepi v svyazi s ikh oslableniem i otmiraniem (na primere Tellermanovskogo lesa)* [Population of stem pests of deciduous species in the oak forests of the forest-steppe due to their weakening and death (on the example of the Tellerman Forest)]. *Zashchita lesa ot vrednykh nasekomykh* [Protection of the forest from harmful insects]. Moscow: Nauka, 1964, pp. 58–118.
- [9] Lindeman G.V. *Zaselenie stvolovymi vreditel'ymi listvennykh porod v svyazi s ikh oslableniem i otmiraniem v dubravakh lesostepi (na primere Tellermanovskogo lesa)* [Population of stem pests of hardwoods due to their weakening and dying in the oak forests of the forest-steppe (on the example of the Tellerman Forest)]: Author's abstract. diss. ... Cand. Sci. (Biol.). Moscow, 1965. 16 p.
- [10] Lindeman G.V. *Zaselenie duba stvolovymi vreditel'ymi v svyazi s oslableniem i otmiraniem v dubravakh lesostepi (na primere Tellermanovskogo lesa)* [Oak settlement by stem pests due to weakening and dying off in the oak forests of the forest-steppe (on the example of the Tellerman forest)]. *Vliyanie zhivotnykh na produktivnost' lesnykh biogeotsenozov*. [Influence of animals on the productivity of forest biogeocenoses] Ed. P.M. Rafes. Moscow: Nauka, 1966, pp. 75–96.
- [11] Volodchenko A.N. *Itogi izucheniya fauny koroedov Srednego Prikhoper'ya* [Results of the study of the fauna of bark beetles of the Middle Riverside]. *Izvestiya St. Petersburg Forestry Academy*, 2011, iss. 196, pp. 109–117.
- [12] Volodchenko A.N. *K poznaniyu ksilobiontnykh zhestkokrylykh Khoperskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika* [To the knowledge of xylobiontic coleopterans of the Koper State Nature Reserve]. *Nauchnye trudy Natsional'nogo parka «Khvalynskiy»*: Materialy III Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Saratov, Natsional'nyy park «Khvalynskiy», 13–14 oktyabrya 2016 g. [Scientific works of the Khvalynsky National Park: Materials of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Saratov, National Park «Khvalynskiy», October 13–14, 2016]. Saratov: Amirit, 2016, iss. 8, pp. 122–126.
- [13] Nikulina T.V., Mandelshtam M.Yu., Petrov A.V., Nazarenko V.Yu., Yunakov N.N. A survey of the weevils of Ukraine. Bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae: Platypodinae and Scolytinae). *Zootaxa*, 2015, v. 3912 (1), 61 p.
- [14] Romanovskiy M.G., Mamaev V.V., Selochnik N.N., Gopius Yu.A., Zhirenko N.G., Kondrashova N.K., Rubtsov V.V., Utkin I.A. *Ekosistemy Tellermanovskogo lesa* [Ecosystems of the Tellerman Forest]. Ed. V.V. Osipov. Moscow: Nauka [Science], 2004, 340 p.
- [15] Wood S.L., Bright D.E. A Catalog of Scolytidae and Platypodidae (Coleoptera). Part 2: Taxonomic Index. *Great Basin Naturalist Memoirs*, 1992, v. 13, pp. 1–1553.



- [16] Knižek M. Scolytinae and Platypodinae. Catalog of Palaearctic Coleoptera. Eds. I. Löbl, A. Smetana. Stenstrup: Apollo Books, 2011, v. 7, pp. 86–87, 201–251.
- [17] Petrov A.V., Dostavalov E.A. *Izmenenie agressivnosti koroedov (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae), assotsiirovannykh s patogennymi mikroorganizmami* [Changes in the aggressiveness of bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) associated with pathogenic microorganisms]. Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii [Proceedings of the St. Petersburg Forestry Academy], 2015, iss. 211, p. 76.
- [18] Mandel'shtam M.Yu. *K poznaniyu chuzherodnykh koroedov (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) evropeyskoy chasti Rossii* [To the knowledge of alien bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) of the European part of Russia]. Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovanie: Materialy Vtoroy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii. Sankt-Peterburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskii universitet im. S.M. Kirova, 24–26 maya 2017 g. [Forests of Russia: politics, industry, science, education: Materials of the second international scientific and technical conference. St. Petersburg, St. Petersburg State Forestry University named after S.M. Kirov, May 24–26, 2017]. Ed. V.M. Gedo. Saint Petersburg: SPbGLTU, 2017, v. 3, pp. 142–144.
- [19] Petrov A.V. A key to the genera and species of the tribe Hylesinini Erichson, 1836 (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) from Russia and adjacent countries. Russian Entomological Journal, 2018, v. 27, no. 2, pp. 179–189.
- [20] Nikulina T.V. *Novye i interesnye nakhodki zhukov-koroedov (Coleoptera, Scolytidae) na territorii Ukrainy* [New and interesting finds of bug beetles (Coleoptera, Scolytidae) in Ukraine] Problemy i perspektivy obshchey entomologii: Tezisy dokladov XIII s'ezda Russkogo entomologicheskogo obshchestva. Krasnodar, Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet, 9–15 sentyabrya 2007 g. [Problems and perspectives of general entomology: Abstracts of the XIII Congress of the Russian Entomological Society. Krasnodar, Kuban State Agrarian University, September 9–15, 2007]. Moscow: Editorial Board of the journal «Plant Protection and Quarantine», pp. 257–258.
- [21] Nikulina T.V., Martynov V.V., Mandel'shtam M.Yu. *Xyleborinus alni (Niisima, 1909) — novyy vid zhukov-koroedov (Coleoptera, Scolytidae) v faune Ukrainy i evropeyskoy chasti Rossii* [*Xyleborinus alni* (Niisima, 1909) — a new species of bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) in the fauna of Ukraine and the European part of Russia]. Vestnik zoologii [Bulletin of Zoology], 2007, v. 41 (6), p. 542.
- [22] Petrov A.V., Nikitskiy N.B. *Koroedy (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) gorodskikh nasazhdeniy Moskvy* [Bark beetles (Coleoptera, Curculionidae, Scolytinae) of urban plantings of Moscow]. Ekologiya urbanizirovannykh territoriy [Ecology of urbanized territories], 2016, no. 3, pp. 88–94.
- [23] Nikitskiy N.B. *Novye i interesnye nakhodki ksilofil'nykh i nekotorykh drugikh vidov zhestkokrylykh nasekomykh (Coleoptera) v Moskovskoy oblasti* [New and interesting finds of xylophilous and some other types of Coleoptera insects in the Moscow Region] Byul. Mosk. ob-va ispytateley prirody. Otd. biologicheskii [Bull. Moscow Survey of nature testers. Department Biological], 2009, v. 114, iss. 5, pp. 49–57.

## Authors' information

**Shtapova Natal'ya Nikolaevna** — postgraduated student of the Institute of Forest Science RAS, shiningsun.shtapi@gmail.com

**Petrov Aleksandr Valentinovich** — Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher of the Laboratory of Forest Zoology at the Institute of Forest Science RAS, hylesinus@list.ru

Received 08.07.2018.

Accepted for publication 13.08.2018.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГРАНИЦ КОНТУРОВ И ТЕРРИТОРИИ УСАДЬБЫ «КАМШИЛОВКА» НАЗЕМНЫМ И ВОЗДУШНЫМ СПОСОБАМИ

**В.А. Леонова, Е.В. Щербакова**

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

leonovava@bk.ru

Приведена краткая историческая справка об истории усадьбы «Камшиловка», которая с середины XX в. используется как учебная база Московского университета леса (в настоящее время Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана). В 1975 г. проведена наземная топографическая съемка с последующей обработкой, получены координаты точек и их высоты, по которым составлен план учебной базы. Подобное обследование можно выполнять и с помощью беспилотных летательных аппаратов. Так, в июле 2016 г. с 7 до 9 утра была проведена фотосъемка исследуемой территории в период вегетации с помощью беспилотного летательного аппарата — квадрокоптера. Осуществлен сравнительный анализ зонирования территории, результатов данных съемок, который позволил выявить динамику развития древесной растительности на территории учебной базы «Камшиловка».

**Ключевые слова:** Камшиловка, учебная база, зонирование, квадрокоптер, инвентаризация древесных насаждений

**Ссылка для цитирования:** Леонова В.А., Щербакова Е.В. Исследование границ контуров и территории усадьбы «Камшиловка» наземным и воздушным способами // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 42–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-42-48

Деревня Камшиловка за свою историю несколько раз меняла название. Как пишет краевед А.Ю. Послыхалин, «1687 г. — пустошь Комшилиха; 1767 г. — сельцо Комшилиха; 1812 г. — сельцо Комшилкино; 1852 г. — деревня Камшиловка; 1862 — деревня Комшиловка; 1926 г. — деревня Камшиловка» [1]. «Камшиловка» — редкий для Подмосковья топоним и восходит он к фамилии посадских людей Комшило (Комшилиных), упоминавшихся в 1617 г. в городе Лух (пос. Лух Ивановской обл.) [2].

Первое упоминание о сельце Комшилихе относится к 1767 г.; говорится о деревянном господском доме, принадлежавшем жене коллежского советника Дмитрия Алексеевича Борисова — Анне Козьминичне Борисовой [3]. В 1770–1780 гг. хозяином Камшиловки становится надворный советник А.М. Нестеров. Его жена Александра Афанасьевна, урожденная Гончарова, была двоюродной прабабушкой Н.Н. Гончаровой (жены А.С. Пушкина). При Нестеровых были возведены господский дом (в начале липовой аллеи, ведущей к пруду) и хозяйские постройки. Был создан пруд, заложен липовый парк. В XX в. в Камшиловке сохранялись остатки усадьбы дворянского рода Нестеровых конца XVIII — середины XIX в. [4].

В 1913 г. усадьба уже числилась по лесной части Удельного ведомства [5], а с конца 60-х гг. XX в. ее территория являлась учебной базой, где ежегодно проходили практику студенты Лесотехнического института (позднее МГУЛ)[6].

Последняя инвентаризация насаждений проводилась 40 лет назад (в 1975 г.). Пришло время реконструкции существующих насаждений и территории. В 2016 г. выполнена аэрофотосъемка территории учебной базы с помощью квадрокоптера, обследованная площадь составила 14 га. При анализе снимков выявлено отсутствие композиционного центра в организации пространства и оформлении территории учебной базы. Часть полученной информации была использована при инвентаризации древесных насаждений.

### Цель работы

Цель исследования — выявление изменений в зонировании территории и состоянии насаждений, произошедших в период с 1975 по 2016 г. Данная информация необходима для последующей реконструкции существующих насаждений и территории [7].

### Материалы и методы

Учебная база в Камшиловке — место, где студенты живут в летнее время, поэтому она должна быть комфортной, соответствовать современным требованиям.

В 1975 г. была проведена наземная топографическая съемка данной местности с дальнейшей обработкой результатов, получены координаты точек и их высоты, по которым В.В. Усанов составил план существующего положения территории. На основании этого документа авторами составлен план зонирования территории (рис. 1), на котором можно выделить 9 зон.

Первая зона представляет собой территорию, на которой расположены основные строения: общежития для студентов, склад инвентаря, преподавательский домик, здание для камеральных работ и т. д. По ней проходила с юга на север главная дорога — въездная, а от дороги ответвлялась сеть дорожек и тропинок. Насаждения первой зоны располагались в центре (ясень, липа, ель, цветники с многолетниками).

Вторая зона — спортивная (футбольное поле, баскетбольная площадка) с грунтовым покрытием, но без насаждений. Третья зона — остатки старого усадебного липового парка Нестеровых (береза, липа, черемуха, ясень и т. д.). Четвертая — зона сохранившегося земляного вала, разделявшего территорию бывшей усадьбы на части: господскую и деревенскую. Пятая — зона старых усадебных липовых аллей, две из которых сохранились. Первая аллея — въездная (с юга на север), вторая (перпендикулярная к первой) была прогулочной и вела к пруду.

Шестая зона — хозяйственная (два хозяйственных склада, преподавательский домик, туалет). Вся остальная территория была занята насаждениями (черемуха, тополь, береза, рябина, лещина и бузина). Седьмая — зона пашен и огородов — открытое пространство с пятью участками для выращивания сельскохозяйственных культур. Из строений на ней расположен преподавательский домик, дом для рабочих базы, туалет. Восьмая — зона плодового (яблоневого и грушевого) сада. Девятая зона — зона смешанного леса, окружающего территорию базы с запада (сосна, лиственница, береза), с севера и востока (сосна, ель, береза).

Таким образом, в 1975 г. почти половина озелененной территории учебной базы была занята плодовыми насаждениями (47 %), а деревья и травянистый покров занимали примерно одинаковую площадь (20 и 22 % соответственно). Оставшиеся 10 % территории приходились на лесные массивы, кустарники и огороды [8].

Реконструкция ландшафтных объектов невозможна без проведения инвентаризации древесно-кустарниковой растительности. Инвентаризация насаждений — очень трудоемкий процесс. Большая площадь объекта исследования и ограниченные сроки производственной практики заставили нас искать новейшие технологии, которые можно было бы использовать при изучении природно-культурных ландшафтов [9].

Одной из таких технологий является аэрофотосъемка территории с беспилотных летательных аппаратов (мультикоптеров), с борта самолета или со спутника и последующая дешифрировка снимков [10]. Для наших целей

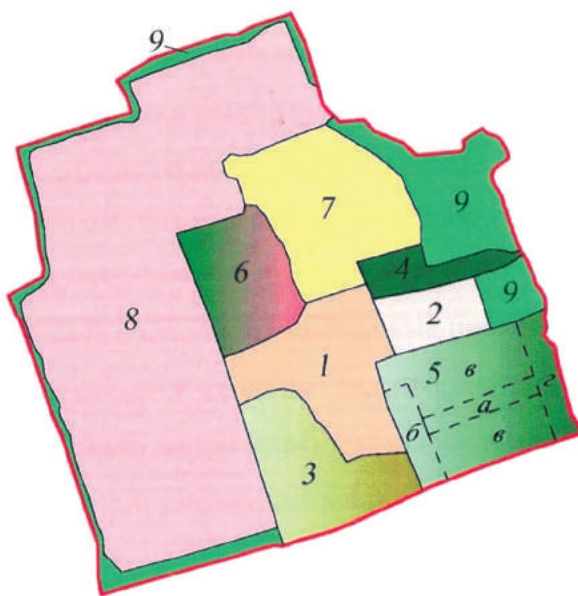


Рис. 1. Зонирование территории на 1975 г.: 1 — зона общежития и учебные корпуса; 2 — зона спортивных площадок; 3 — зона старого парка; 4 — зона границы усадьбы; 5 — зона старых липовых аллей (а — дорога; б — вход со стороны дома; в — аллеи; г — пруд); 6 — зона хозяйственного двора; 7 — зона пашен и огородов; 8 — зона плодового сада; 9 — зона леса

Fig. 1. Zoning of the territory for 1975: 1 — zone of hostels and educational cases; 2 — zone of sports grounds; 3 — zone of the old park; 4 — zone of border of the estate; 5 — zone of old lime avenues (a — road; b — entrance from the house; c — avenues; d — pond), 6 — zone of the economic yard, 7 — zone of arable lands and kitchen gardens; 8 — orchard; 9 — wood zone

больше подходят малые беспилотные летательные аппараты мультикоптерного типа со средствами фото- и видеофиксации [11]. С их помощью можно обследовать большие территории при мониторинге разливов рек в городах (при паводках), современного состояния дорог, мостов, крыш зданий, дорожно-транспортных происшествий и т. д. [12]. В лесной отрасли А.Б. Жирнов и В.Н. Груздова рассматривали вопросы использования беспилотных летательных аппаратов при оценке лесосырьевых баз лесозаготовительных предприятий [13].

Важными критериями работы квадрокоптера являются его грузоподъемность и время полета, а внедрение гибридной силовой установки в беспилотных системах позволяет находиться в воздухе продолжительное время [14]. Перечисленные качества квадрокоптеров позволили выполнить комплексное обследование ландшафтной территории учебной базы «Камшиловка».

Первые опыты по изучению территории учебной базы с помощью квадрокоптера прошли в июле 2016 г., когда в утреннее время (с 7 до 9 утра) была произведена съемка исследуемой территории на высоте 50, 100 и 150 м.





Рис. 2. Пример фотографии, полученной с квадрокоптера  
Fig. 2. An example of the picture received from the quadcopter



Рис. 3. Общее изображение учебной базы, состоящее из снимков, полученных с квадрокоптера  
Fig. 3. The general image of educational base consisting of the pictures received from the quadcopter



Рис. 4. План существующего положения территории учебной базы на 2016 г.

Fig. 4. Plan of the current state of the territory of educational base for 2016

Всего было сделано 100 фотографий и проанализирована часть полученных снимков, с целью ускорения процесса инвентаризации существующих деревьев.

## Результаты и обсуждение

В процессе работы с фотоснимками авторы отработали методику анализа информации, полученной с помощью квадрокоптера. Анализ снимков проводился в два этапа.

### Первый этап — получение единого изображения.

1. Была поставлена задача: получить из множества снимков единое изображение учебной базы. Наименьшим искажением отмечались снимки, выполненные на высоте 100 м. Но их оказалось недостаточно для извлечения информации о пространственной структуре и насаждениях на всей территории учебной базы, поэтому использовали часть снимков, сделанных на других высотах.

2. По краям снимков отмечались сильные искажения, и лишь центральные части снимков оказались пригодными для работы. Поэтому у отобранных фотографий были обрезаны края и оставлена только центральная часть (рис. 2).

3. Далее обрезанные снимки были приведены к единому масштабу в программе AutoCad 2013.

4. Затем все снимки были состыкованы для получения единого изображения определенного пространства учебной базы, которое анализировалось с целью получения максимальной информации по инвентаризации насаждений.

В результате аналитической работы с изображениями было отобрано 40 снимков, на которых четко просматривались древесные насаждения. В качестве начальной информации по инвентаризации насаждений учебной базы можно выделить: *типы посадок* (группы, рядовые посадки, массив), *конструктивные элементы территории* (дороги, тропинки, здания и пруд). Для детального изучения типов насаждений полученное изображение объекта не подходило, так как на нем не отражалась вся территории учебной базы и не удавалась точно состыковать все снимки. Поэтому потребовался детальный анализ отдельных, наиболее удачных, снимков (рис. 3).

### Второй этап — детальное исследование снимков.

1. Для детального изучения насаждений были отобраны снимки по следующим критериям: а) падающие тени не должны перекрывать значительную часть насаждений; б) освещение на снимках должно было быть четким, чтобы хорошо читался цвет окраски листвы; в) небольшая площадь насаждений на снимках позволяла лучше рассмотреть особенности каждого дерева. Всего было отобрано 12 фотографий с узнаваемыми группами насаждений в зоне плодового сада и в зоне липовой аллеи.



2. По отобранным снимкам были разработаны критерии сбора информации для инвентаризации насаждений и определен видовой состав насаждений по плотности кроны, окраске листвы и хвои, по размеру.

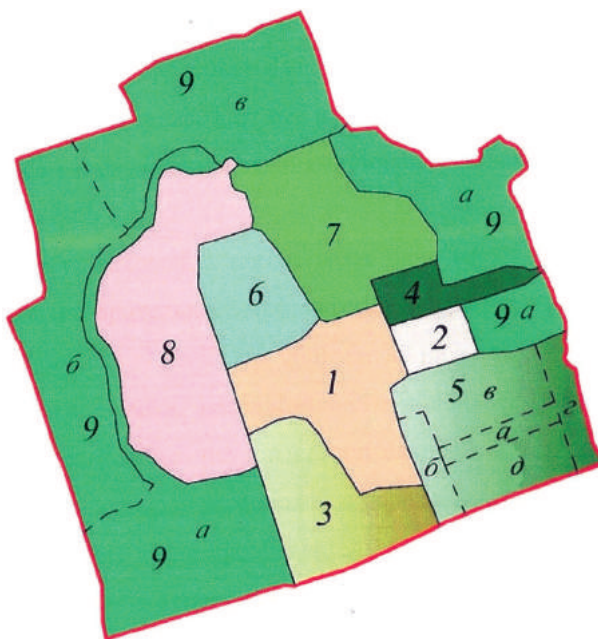
На этом сбор информации воздушным способом был закончен и продолжен наземным путем. Совмещение воздушного и наземного способа дало возможность научиться читать снимки и уточнять детали инвентаризации насаждений, которые были не видны на них.

В 1975 г. В.В. Усанов составил план существующего положения территории, но в графическом виде он не сохранился. После натурных обследований учебной базы 2016 г. мы также составили план существующего положения, который представили в графическом виде (рис. 4).

На рис. 4 хорошо видно, что юго-западные, северо-западные и северо-восточная части территории покрыты лесными насаждениями различного состава, а в центральной части располагаются учебные корпуса с остатками плодового сада (на севере) и остатками усадебного липового парка (на юге). На юго-восточном участке, прилегающем к пруду, появилась молодая древесная поросль [15].

Далее было проведено зонирование современной территории. Ее опять подразделили на 9 зон (рис. 5).

Территория *первой зоны*, как и в 1975 г., осталась учебно-хозяйственной. Из строений на ней имеются: два студенческих общежития, столовая, здание для камеральных работ, склад учебного инвентаря, две беседки, колодец, площадка для сбора студентов. Дорожная сеть представлена асфальтовым, плиточным и грунтовым покрытием. *Вторая, третья, четвертая и пятая зоны* не изменились.



**Рис. 5.** Зонирование территории 2016 г.: 1 — зона общежития и учебные корпуса; 2 — зона спортивных площадок; 3 — зона старого парка; 4 — зона границы усадьбы; 5 — зона старых липовых аллей (а — дорога; б — вход со стороны дома; в, д — аллеи; з — пруд); 6 — зона зарастающей березовой рощи; 7 — зона опушки леса; 8 — зона плодового сада; 9 — зона леса

**Fig. 5.** Zoning of the territory for 2016: 1 — zone of hostels and educational cases; 2 — zone of sports grounds; 3 — zone of the old park; 4 — zone of border of the estate; 5 — zone of old lime alleys (a — road; b — entrance from the house; c — avenues; d — pond); 6 — zone of birch grove, 7 — a wood edge zone; 8 — orchard zone; 9 — wood zone

*Шестая зона* представлена березовой рощей. Из строений на ней имеются: два хозяйственных склада, бывший преподавательский домик, туалет. Большая часть данной территории в настоящее

**Сравнительный анализ зон учебной базы «Камшиловка» (данные 1975 и 2016 гг.)**

**Сравнительный анализ зон учебной базы «Камшиловка» (данные 1975 и 2016 гг.)**

| № зоны | Наименование                      | Площадь, % |         | Изменения в 2016 г. по сравнению с 1975 г., % |  |
|--------|-----------------------------------|------------|---------|---|--|
|        |                                   | 1975 г.    | 2016 г. | площади S                                     | насаждений (ассортимент, распределение по зоне, H) |
| 1      | Зона общежитий и учебных корпусов | 7,87       | 8,38    | 7   | 70   |
| 2      | Зона спортивных площадок          | 2,70       | 1,66    | 38  | 0  |
| 3      | Зона старого парка                | 6,94       | 6,94    | 0   | 40   |
| 4      | Зона границы усадьбы              | 2,15       | 2,21    | 2,7   | 40   |
| 5      | Зона старых липовых аллей         | 10,51      | 10,78   | 2,5   | 50   |
| 6      | Зона хозяйственного двора (1975)  | 5,58       | 4,68    | 16  | 40   |
| 7      | Зона пашен и огородов (1975)      | 9,56       | 8,56    | 9   | 100  |
| 8      | Зона плодового сада               | 42,96      | 13,37   | 69  | 90   |
| 9      | Зона леса                         | 11,73      | 43,42   | 70  | 90   |

время не используется. *Седьмая зона* — зона опушки леса. К 2016 г. зона огородов и пашен на территории не сохранилась и территория стала зарастать. Из строений в данной зоне находятся два преподавательских домика и три туалета. На юго-западе по границе с *шестой зоной* проходит дорожка с плиточным мощением, обрамленная по бокам молодыми посадками клена и каштана. *Восьмая зона* — зона плодового сада — сохранилась. Зимой 1978–1979 гг. яблоневые и грушевые деревья вымерзли во время морозов, которые доходили до  $-45^{\circ}\text{C}$ . К 2016 г. плодовой сад представлял собой поляну с небольшими пятнами диких плодовых деревьев (очевидно, сохранившийся подвой). *Девятая зона* — зона леса, который практически по всему периметру окружает учебную базу.

Результаты натурных исследований 1975 г. были обработаны и проанализированы. Проведено сравнение с результатами обследования территории за 2016 г. Сравнительный анализ этих данных представлен в таблице.

## Выводы

1. Проанализировав рис. 1 и 5, можно сделать вывод, что две зоны (шестая и седьмая) изменили свое функциональное назначение: зона хозяйственного двора превратилась в зарастающую березовую рощу, а зона пашен и огородов превратилась в опушку леса.

2. В учебном комплексе бывшей усадьбы «Камшиловка» на лесных пространствах, когда-то отвоєванных человеком, из-за отсутствия хозяйственной деятельности опять начался активный процесс облесения.

3. Представленные графически результаты наземных исследований можно сравнивать с информацией, извлеченной из снимков, выполненных с помощью квадрокоптера и приведенных к единому масштабу. Поэтому можно считать, что использование квадрокоптера для инвентаризации насаждений является достаточно перспективной технологией в ландшафтной архитектуре.

## Список литературы

- [1] Послыхалин А.Ю. Из истории происхождения названий сел и деревень в окрестностях усадьбы Гребнево // Подмосковный краевед (электронный журнал). URL: <http://trojza.blogspot.ru/2014/04/blog-post.html> (дата обращения 12.12.2016).
- [2] Горский А.М. Русское средневековье. Т. 2. М.: Астрель, 1999. 43с.
- [3] Послыхалин А.Ю. История усадьбы Гребнево. М.: Книга и бизнес, 2013. 344 с.
- [4] Шкаринов С.Л., Белошицкая Е.Л. Усадьба «Камшиловка» — база проведения ботанических практик. М.: МГУЛ, 2009. 15 с.
- [5] Щукина Е.П. Подмосковные усадебные сады и парки конца XVIII века. М.: Институт наследия, 2007. 384 с.
- [6] Попова А.А. Изучение динамики пространственной структуры и типов насаждений учебной базы «Камшиловка» Щелковского района Московской области: Автореф. магистерской дис. МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал). М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 2017. С. 14.
- [7] Попова А.А. Анализ структуры территории и древесных насаждений учебной базы «Камшиловка» Щелковского района Московской области // Сб. тезисов научно-технической конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал). Мытищи, 1–30 июня 2017 г. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017. С. 105, 106.
- [8] Леонова В.А., Попова А.А. Анализ зонирования территории, структуры зон и древесных насаждений усадьбы «Камшиловка» Щелковского района Московской области // Вестник ландшафтной архитектуры, 2016. № 8. С. 55–60.
- [9] Попова А.А., Нагорнова Т.В. Исследование состава насаждений с применением квадрокоптера на разных объектах // Сб. тезисов научно-технической конференции МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал). Мытищи, 1–30 июня 2017 г. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017. С. 107, 108.
- [10] Quadrocohtery // Словарь терминов. 2016. URL: <http://quadrocohtery.ru/slovar-terminov/> (дата обращения 10.02.2018).
- [11] Добрынин Е.А. Применение малых БПЛА мультикоптерного типа для локального мониторинга объектов окружающей среды // Робототехника и техническая кибернетика, 2014. № 1 (2). С. 33–37.
- [12] Волков В.С., Кастырин Д.Ю. Совершенствование экспертизы дорожно-транспортных происшествий с применением квадрокоптеров // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2015. № 4-1. С. 271–276.
- [13] Красовский А.Н., Сулова О.А. Облет дронами-квадрокоптерами сельскохозяйственных угодий // Аграрный вестник Урала, 2016. № 1 (143). С. 29–32.
- [14] Корнеева В.Р. Использование гибридной силовой установки в мультикоптерах // Молодой ученый, 2015. № 24. С. 146–149.
- [15] Леонова В.А., Попова А.А. Анализ существующего положения усадьбы «Камшиловка» Щелковского района Московской области // Чтения памяти Т.Б. Дубяго: Сб. статей международной конференции. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. С. 11–17.

## Сведения об авторах

**Леонова Валентина Алексеевна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), leonovava@bk.ru

**Щербакowa Елена Викторовна** — старший преподаватель кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-lasps@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 17.04.2018.

Принята к публикации 20.08.2018.

## RESEARCH OF BORDER CONTOURS OF THE ESTATE «KAMSHILOVKA» BY LAND AND AIR WAYS

V.A. Leonova, E.V. Scherbakova

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

leonovava@bk.ru

The article gives a brief historical reference about the estate «Kamshilovka», which is further used as a training base of Moscow Forest University (currently Mytishchi branch of the Bauman Moscow State Technical University). In 1975 as a result of ground-based topographic surveying and its further processing the coordinates of the points and their heights were obtained, for which a plan for the existing position of the training base was drawn up. Such a survey can also be obtained with the help of aircraft on the images obtained. In July 2016 in the time interval from 7 to 9 am the studied territory was surveyed during the vegetation period by means of a flying squarh. A comparative analysis of the zoning of the territory was made which made it possible to reveal the dynamics of the development of woody vegetation of the educational base «Kamshilovka».

**Keywords:** Kamshilovka, educational base, zoning, quadcopter, inventory of wood plantings

**Suggested citation:** Leonova V.A., Scherbakova E.V. *Issledovanie granits konturov i territorii usad'by «Kamshilovka» nazemnym i vozdushnym sposobami* [Research of border contours of the estate «Kamshilovka» by land and air ways]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 42–48. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-42-48

## References

- [1] Poslykhalin A. Yu. *Iz istorii proiskhozhdeniya nazvaniy sel i dereven' v okrestnostyakh usad'by Grebnevo* [From the history of the origin of the names of villages and villages in the vicinity of the Grebnevo estate]. *Podmoskovnyy kraeved (elektronnyy zhurnal)* [Internet journal Local Historian of Moscow]. URL: <http://trojza.blogspot.ru/2014/04/blog-post.html> (accessed 12.12.2016).
- [2] Gorskiy A.M. *Russkoe srednevekov'e* [Russian Middle Ages]. V. 2. Moscow: Astrel', 1999, 43 p.
- [3] Poslykhalin A. Yu. *Istoriya usad'by Grebnevo* [History of the estate Grebnevo]. Moscow: Kniga i biznes [Book and business], 2013, 344 p.
- [4] Shkarinov S.L., Beloshitskaya E.L. *Usad'ba «Kamshilovka» – baza provedeniya botanicheskikh praktik* [The farm «Kamshilovka» is the base for conducting botanical practices]. Moscow: MGUL, 2009, 15 p.
- [5] Shchukina E.P. *Podmoskovnye usadebnye sady i parki kontsa XVIII veka* [Near Moscow manor gardens and parks of the late XVIII century]. Moscow: Institut naslediya [Institute of Heritage], 2007, 384 p.
- [6] Popova A.A. *Izuchenie dinamiki prostranstvennoy struktury i tipov nasazhdeniy uchebnoy bazy «Kamshilovka» Shchelkovskogo rayona Moskovskoy oblasti* [Studying the dynamics of the spatial structure and types of plantations in the educational base of Kamshilovka, Shchelkovo District, Moscow Region]. Author's abstract. Master diss. BMSTU (Mytishchi branch). BMSTU (Mytishchi branch), 2017, p. 14.
- [7] Popova A.A. *Analiz struktury territorii i drevesnykh nasazhdeniy uchebnoy bazy «Kamshilovka» Shchelkovskogo rayona Moskovskoy oblasti* [Analysis of the structure of the territory and tree planting of the educational base «Kamshilovka» in Shchelkovo district of the Moscow region]. *Sbornik tezisev nauchno-tehnicheskoy konferentsii MGTU im. N.E. Baumana (Mytishchinskiy filial), Mytishchi, 1–30 iyunya 2017 g.* [Collected theses of the scientific and technical conference of the Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch). Mytishchi, 1–30 June 2017]. Krasnoyarsk: Nauchno-innovatsionnyy tsentr [Scientific and Innovation Centre], 2017, pp. 105, 106.
- [8] Leonova V.A., Popova A.A. *Analiz zonirovaniya territorii, struktury zon i drevesnykh nasazhdeniy usad'by «Kamshilovka» Shchelkovskogo rayona Moskovskoy oblasti* [Analysis of the zoning of the territory, the structure of zones and tree plantations of the «Kamshilovka» estate of the Shchelkovskiy district of the Moscow region]. *Vestnik landshaftnoy arkhitektury* [Bulletin of Landscape Architecture], 2016, no. 8, pp. 55–60.
- [9] Popova A.A., Nagornova T.V. *Issledovanie sostava nasazhdeniy s primeneniem kvadroptera na raznykh ob'ektakh* [Study of the composition of plantations with the use of a quadcopter at different sites]. *Sbornik tezisev nauchno-tehnicheskoy konferentsii MGTU im. N.E. Baumana (Mytishchinskiy filial), Mytishchi, 1–30 iyunya 2017 g.* [Collected theses of the scientific and technical conference of the Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch). Mytishchi, 1–30 June 2017]. Krasnoyarsk: Nauchno-innovatsionnyy tsentr [Scientific and Innovation Centre], 2017, pp. 107, 108.
- [10] *Quadrochtery* [Quadrocohtery]. Dictionary of terms, 2016. URL: <http://quadrocohtery.com/slovar-terminov/> (accessed 10.02.2018).

- [11] Dobrynin E.A. *Primenenie mal'nykh BPLA mul'tikopternogo tipa dlya lokal'nogo monitoringa ob'ektov okruzhayushchey sredy* [Application of small multi-rotor UAV for local monitoring of environmental objects]. *Robototekhnika i tekhnicheskaya kibernetika* [Robotics and technical cybernetics], 2014, no. 1 (2), pp. 33–37.
- [12] Volkov V.S., Kastyrin D.Yu. *Sovershenstvovanie ekspertizy dorozhno-transportnykh proisshestviy s primeneniem kvadrokopterov* [Perfection of examination of road accidents with the use of quadrocopter]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XX veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, no. 4–1, pp. 271–276.
- [13] Krasovskiy A.N., Suslova O.A. *Oblet dronami-kvadrokopterami sel'skokhozyaystvennykh ugodyy* [Overflight with drones-kvadrokopterami agricultural land]. *Agrarnyy vestnik Urala* [Agrarian Bulletin of the Urals], 2016, no. 1 (143), pp. 29–32.
- [14] Korneeva V.R. *Ispol'zovanie gibridnoy silovoy ustanovki v mul'tikopterakh* [Using a hybrid power plant in multi-copters]. *Molodoy uchenyy* [Young Scientist], 2015, no. 24, pp. 146–149.
- [15] Leonova V.A., Popova A.A. *Analiz sushchestvuyushchego polozheniya usad'by «Kamshilovka» Shchelkovskogo rayona Moskovskoy oblasti* [Analysis of the current situation of the estate «Kamshilovka» Shchelkovo district of the Moscow region]. *Chteniya pamyati T.B. Dubyago: Sbornik statey mezhdunarodnoy konferentsii* [Reading memory. Dubyago: collection of articles of the international conference]. Saint Petersburg: Izd-vo Politekhn. un-ta [Publishing house of Polytechnic University], 2016, pp. 11–17.

## Authors' information

**Leonova Valentina Alekseevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associated Professor of the Landscape Architecture Department of BMSTU (Mytishchi branch), [leonovava@bk.ru](mailto:leonovava@bk.ru)

**Scherbakova Elena Viktorovna** — Senior Lecturer of the Landscape Architecture Department of BMSTU (Mytishchi branch), [caf-lasps@mgul.ac.ru](mailto:caf-lasps@mgul.ac.ru)

Received 17.04.2018.

Accepted for publication 20.08.2018.



## ЭТНОГРАФИЧЕСКИЙ ПАРК «КОЧЕВНИК» КАК ПРИМЕР КУЛЬТУРНО-ПОЗНАВАТЕЛЬНОГО ПАРКА

Т.С. Санаева

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

Описано значение этнопарков. Рассмотрен пример существующего этнопарка «Кочевник» (Московская обл.). В рамках дипломного проекта предложена концепция озеленения и благоустройства территории парка. Представлены рекомендуемые виды растений, характерные для зоны степей. Проведен комплексный анализ территории объекта, определивший направления формирования композиционного решения; разработан план озеленения и благоустройства парка, направленный на повышение эстетических качеств территории и создание комфортных условий для отдыха; составлен ассортимент древесно-кустарниковых растений и травянистых растений с учетом функциональной направленности объекта.

**Ключевые слова:** этнографический парк, степные растения, степь, травянистые растения, кочевник

**Ссылка для цитирования:** Санаева Т.С. Этнографический парк «Кочевник» как пример культурно-познавательного парка // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 49–53.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-49-53

На земном шаре, по разным оценкам, проживает от 2 до 2,5 тыс. народов. Все они обладают уникальными самобытными чертами и историей, что делает их важной частью общемирового культурного пространства. Еще с древних времен контакты между народами обусловили их взаимный интерес друг к другу, в основе которого лежали экономические, политические и культурные мотивы.

В последнее время во всем мире возрос интерес к этнографии, памятникам народной архитектуры. Этот факт определил появление в разных странах этнографических, исторических и историко-архитектурных парков — музеев под открытым небом.

Первый в мире этнографический парк — «Скансен» — был создан в Швейцарии в 1891 г. На его территории размещались 150 памятников народной архитектуры и небольшой зоопарк со скандинавской фауной [1]. В последующие годы этнографические парки стали создаваться и в других странах. В СССР первым этнопарком, или музеем под открытым небом, стал музей-заповедник «Коломенское», организованный в 1923 г. Второй подобный музей — «Кижи» — появился спустя почти 40 лет (в 1966 г.).

Этнографический парк, или этнопарк, — разновидность музея под открытым небом; создается с использованием макетов или копий в натуральную величину и предназначен для развлечения и отдыха. Кроме того, этнопарки ориентированы на сохранение мировидения и традиционной культуры самобытных народов, например народов Севера [2]. Этнопарки позволяют создавать условия для ценностной ориентации подрастающего поколения, стимулировать интерес к национальной

истории и культуре и активно использовать культурный потенциал своей Родины; формировать восприятие молодежью наследия своего народа и страны в целом как части общероссийского культурного наследия, помогать детям и подросткам адекватно представлять культурное многообразие своей страны [3].

На территории некоторых этнопарков можно проводить фестивали народного творчества, устраивать выступления фольклорных ансамблей, народные празднества. Данные специализированные объекты ландшафтной архитектуры относятся к группе культурно-познавательных парков.

Одним из таких познавательных парков является этнопарк «Кочевник», который расположен в Сергиево-Посадском районе Московской области, недалеко от г. Хотьково.

### Цель работы

Цель работы — предложить концепцию озеленения и благоустройства территории этнопарка «Кочевник», представить рекомендуемые виды растений, характерные для зоны степей (в рамках дипломного проекта).

### Материалы и методы

Парк воплощает очень интересную идею — рассказать посетителям о жизни, быте, традициях и культуре кочевых народов, познакомить с их аутентичными жилищами. На данный момент (2017) на территории объекта разбиты Монгольский двор (культура кочевников Монголии, Бурятии, Калмыкии), Тюркский двор (культура кочевников Кыргызстана, Казахстана, Башкирии, Туркменистана), двор северных народов и зодвор, на котором разводят верблюдов, яков, кур,



Рис. 1. Юрты разных народов [4]  
Fig. 1. Yurtas of different nations [4]

гусей. Здесь расположены жилища разных народов (рис. 1) — монгольские юрты, так называемые тюркские юрты (казахские), чукотская яранга, ненецкие чумы; построены загоны для животных, часто проводятся творческие мастер-классы, этнические фестивали, массовые мероприятия.

Территория данного объекта послужила материалом для дипломного проекта. Общая площадь объекта проектирования составляла почти 9 га. На момент разработки проекта на территории не было дорожно-тропиночной сети, что затрудняло передвижение по парку, особенно в дождливую погоду. Кроме того, нужен был план благоустройства и озеленения территории, позволяющий частично воспроизвести среду обитания кочевых народов и народов Севера. Определенная сложность заключалась в выработке концепции озеленения, так как природная среда, соответствующая жизни кочевников, — степь, а парк находится в окружении лесных насаждений.

Таким образом, основными задачами данного дипломного проекта были разработки: дорожно-тропиночной сети для прогулочного маршрута, позволяющей беспрепятственно посещать тематические части парка; маршрутов для катания на собачьих упряжках и на верблюдах; детской площадки, соответствующей стилистике парка; концепции озеленения.

### Результаты и обсуждение

В соответствии с заданием на проектирование были проведены натурные исследования территории. Выполнен предпроектный комплексный анализ территории: проведена оценка естественно-природных и климатических условий, изучен животный мир, напочвенный покров. На базе этого анализа разработаны конкретные проектные предложения с учетом идеи и стилистики объекта.

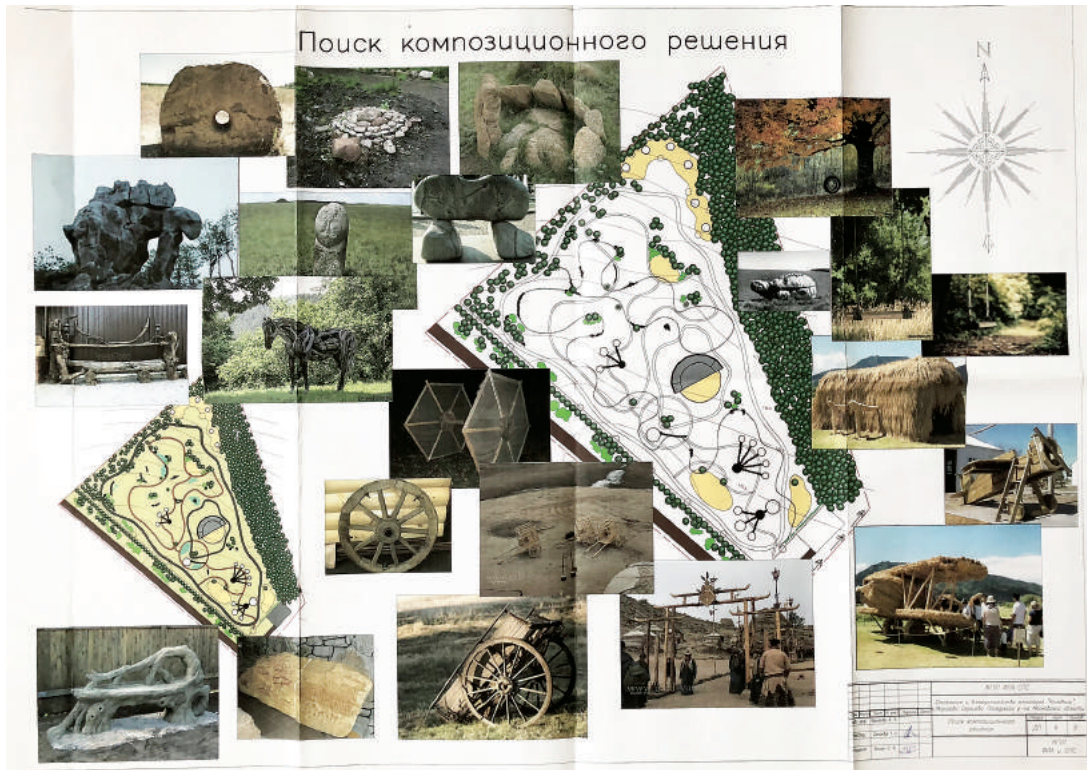
В итоге на территории было запроектировано три маршрута. Первый маршрут расположен по периметру всего парка и предназначен для катания на собачьих упряжках. Второй маршрут спроектирован вокруг зоодвора и может исполь-

зоваться для катания на верблюдах. Третий маршрут прогулочный, он проходит по всему парку, соединяя все тематические двory и позволяя посетителям насладиться «степной природой». На всем протяжении маршрута запроектированы различные композиции, выполненные из камня или дерева. Чтобы поддержать дух кочевья, сделать комфортным передвижение по парку, дорожки проектируются из гранитного отсева. В северо-западной части парка предусмотрена площадка для массовых мероприятий. Недалеко от Монгольского и Тюркского дворов проектируется Базарная площадь. Данная площадка



Рис. 2. Фрагмент генерального плана этнопарка «Кочевник»  
Fig. 2. Fragment of the ethnopark «Kochevnik» master plan





**Рис. 3.** Поиск композиционного решения этнопарка «Кочевник»  
**Fig. 3.** Search for a composite solution of the «Kochevnik» ethnopark

огорожена невысоким частоколом, рядом с ней расположена композиция «Телеги». За площадкой находится место для стрельбы из лука. В восточной части парка запроектирована детская площадка. Она оборудована специальными игровыми формами, выполненными в этностиле. Образцы проектных решений приведены на рис. 2, 3.

По границе южной части парка проходит автомобильная дорога, вдоль которой запланированы защитные насаждения из клена татарского.

Особая роль в проекте отведена цветочно-декоративному оформлению территории. Для степей типично отсутствие деревьев или очень малое их количество. Степная зона характеризуется равнинным ландшафтом, растительный покров состоит из трав, способных переносить засуху. Поэтому и в парке растительный мир степи представлен в основном травами.

Среди травянистых растений выделяются две группы: северное красочное разнотравье и южное — бескрасочное. Для красочного разнотравья характерен мезофильный облик и крупные яркие цветы или соцветия, для южного, бескрасочного, разнотравья — более ксерофильный облик: опушенные стебли и листья, часто узкие или мелко рассеченные листья, цветы малозаметные, неяркие. Характерны для степей однолетние эфемеры, отцветающие весной и после цветения отмирающие, и многолетние эфемероиды, у которых после отмирания наземных

частей остаются клубни, луковицы, подземные корневища [5].

Самое яркое цветение в степи приходится на весну и начало лета. Затем засыхающие колоски злаков оживляются редким цветением засухоустойчивых многолетников [6]. Колористика северных пейзажей несколько однообразна, преобладают зеленый, серый и коричневый цвета. Правильно подобранные травянистые растения помогут внести цветовые акценты, создать выразительные композиции в весенне-летний период (таблица). На территории парка по проекту предполагается высаживать островками травянистые растения — различные виды злаковых культур и полыни. Цветочное оформление спроектировано в виде ландшафтных групп.

Для степи характерны кустарники, часто растущие группами, иногда одиночно. К ним относятся спиреи, караганы, степные вишни, степной миндаль, некоторые виды можжевельника [5, 6]. Проектом предусмотрено использование пяти видов красивоцветущих кустарников: спиреи серой, караганы древовидной, жимолости татарской, миндаля степного, бересклета европейского. Из хвойных растений предполагается высадить стланник кедровый, можжевельник казацкий. В зимнее время декоративного эффекта посадок можно достичь путем введения в опушку, в ассортимент дерева белого, имеющего кору красивого малинового цвета, и черемухи Маака с красной корой.

**Рекомендуемые для парка «Кочевник»  
травянистые растения  
(по материалам [7–15])**

**Recommended herbaceous plants for the park  
Kochevnik» (by materials [7–15])**

| Вид   | Высота,<br>см | Период<br>цветения |
|---|---------------|--------------------|
| Адонис весенний<br>( <i>Adonis vernalis</i> )                 | 20–30         | Май                |
| Анафалис жемчужный<br>( <i>Anaphalis margaritacea</i> )       | 60–100        | Июль – сентябрь    |
| Вероника длиннолистная<br>( <i>Veronica longifolia</i> )      | 100–150       | Июнь – сентябрь    |
| Гониолимон татарский<br>( <i>Goniolimon tataricum</i> )       | 10–45         | Июнь – июль        |
| Герань луговая<br>( <i>Geranium pratense</i> )                | 40–80         | »                  |
| Ирис сибирский<br>( <i>Iris sibirica</i> )                    | 100           | Июнь               |
| Катран татарский<br>( <i>Crambe tataria</i> )                 | 100           | Май – июнь         |
| Камнеломка дернистая<br>( <i>Saxifraga cespitosa</i> )        | 20            | Апрель – июль      |
| Качим метельчатый<br>( <i>Gypsophila paniculata</i> )         | 100           | Июнь – июль        |
| Кермек Гмелина<br>( <i>Limonium gmelinii</i> )                | 40–80         | Июль               |
| Ковыль волосовидный<br>( <i>Stipa capillata</i> )             | 70            | Май – июнь         |
| Лабазник вязолистный<br>( <i>Filipendula ulmaria</i> )        | 200           | Июнь – июль        |
| Лапчатка серебристая<br>( <i>Potentilla argentea</i> )        | 30            | Май – сентябрь     |
| Лисохвост луговой<br>( <i>Alopecurus pratensis</i> )          | 120           | Июнь               |
| Молиния голубая<br>( <i>Molinia caerulea</i> )                | 100           | Июль – август      |
| Мордовник обыкновенный<br>( <i>Echinops ritro</i> )           | 80            | »                  |
| Нивяник обыкновенный<br>( <i>Leucanthemum vulgare</i> )       | 60            | Май – август       |
| Овсяница луговая<br>( <i>Festuca pratensis</i> )              | 120           | Июнь – август      |
| Очиток едкий<br>( <i>Sedum acre</i> )                         | 15            | Апрель – июль      |
| Полынь понтийская<br>( <i>Artemisia pontica</i> )             | 100           | Июль – август      |
| Перловник поникающий<br>( <i>Melica nutans</i> )              | 60            | Май – июнь         |
| Тимьян ползучий<br>( <i>Thymus serpyllum</i> )                | 15            | Май – август       |
| Тюльпан Шренка<br>( <i>Tulipa schrenkii</i> )                 | 30            | Апрель – май       |
| Тюльпан Биберштейна<br>( <i>Tulipa biebersteiniana</i> )      | 30            | »                  |
| Тысячелистник обыкновенный<br>( <i>Achillea millefolium</i> ) | 80            | Июнь – август      |
| Эремурус узколистный<br>( <i>Eremurus stenophyllus</i> )      | 80–250        | Май – июль         |

## Заключение

В рассматриваемом проекте основной акцент сделан на создание цветочно-декоративного травостоя, который служит не только фоном, но и украшением объекта. Таким образом, разработанный план озеленения и благоустройства территории парка актуален и важен для повышения эстетических качеств территории и создания комфортных условий для проведения культурно-досуговых мероприятий и для отдыха, что позволит сделать парк более притягательным для посетителей.

## Список литературы

- [1] Сокольская О.Б., Теодоронский В.С. Специализированные объекты ландшафтной архитектуры: проектирование, строительство, содержание: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2015. 720 с.
- [2] Зорин А.Н. Основы этнографии. Казань: Казанский государственный университет, 1994. 80 с.
- [3] Этнопарки как инструмент гармонизации международных отношений: зарубежный опыт и российский потенциал // Общественно-политический альманах. Поиск. Альтернатива. Выбор. URL: <http://newknowledge.ru/projects/pav> (дата обращения 15.01.2018).
- [4] Этнопарк «Кочевник». URL: <http://ethno-park.ru/about> (дата обращения 25.12.2017).
- [5] Растения степной зоны. URL: <http://biofile.ru/bio/5057.html> (дата обращения 15.01.2018).
- [6] Шанцер И.А. Растения средней полосы Европейской России: полевой атлас. 2-е изд. М.: Т-во научных изданий КМК, 2007. 470 с.
- [7] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю. Цветочное оформление. М.: Академия, 2003. 108 с.
- [8] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю., Бобылева О.Н. Цвет в ландшафтном дизайне. М.: Фитон+, 2007. 128 с.
- [9] Городков А.В., Салтанова Е.И. Экология визуальной среды. СПб.: Лань, 2013. 192 с.
- [10] Колесникова Е.Г. Редкие однолетние цветы. М.: МСП, 2003. 192 с.
- [11] Петренко Н.А. Однолетние и многолетние декоративные растения для цветников: иллюстрированный атлас. М.: Фитон XXI, 2014. 368 с.
- [12] Желтовская Т.Т. Декоративные травы в дизайне сада. М.: Кладезь-Букс, 2008. 127 с.
- [13] Карпионова Р.А. Цветоводство. М.: Кладезь-Букс, 2007. 256 с.
- [14] Каталог многолетних травянистых растений, выращиваемых в питомниках АППМ / под ред. И.Ю. Бочковой. М.: АППМ, 2016. 368 с.
- [15] Стрижев А.А. Русское разнотравье. М.: Общество сохранения литературного наследия, 2007. 568 с.



## Сведения об авторе

**Санаева Татьяна Сергеевна** — канд. с.-х. наук, доцент кафедры ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), tsanaeva@gmail.com

Поступила в редакцию 17.04.2018.

Принята к публикации 13.08.2018.

## ETHNOGRAPHIC PARK «KOCHEVNIK» AS EXAMPLE OF CULTURAL AND EDUCATIONAL PARK

**T.S. Sanaeva**

tsanaeva@gmail.com

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

On the globe, according to different estimates, there are from 2 to 2.5 thousand people, all of them have unique original features and history, which makes them an important part of the global cultural space. Since ancient times, contacts between peoples have determined mutual interest, based on economic, political and cultural motives. The article describes the significance of ethnoparks. An example of the existing ethnopark «Kochevnik» is considered. The concept of developing gardening and landscaping in the park area is proposed in the framework of the development of the thesis project. The article presents recommended plant species characteristic of the steppe zone. As a result of the development of the concept of landscaping and improvement of the project, the following tasks have been accomplished: a comprehensive analysis of the territory of the site, determining the direction in the formation of the composite solution, a project for landscaping and improvement of the park, taking into account the improvement of the aesthetic qualities of the territory and the organization of comfortable conditions, an assortment of trees and shrubs herbaceous plants taking into account the functional orientation of the object.

**Keywords:** ethnopark, steppe plants, steppe, herbaceous plants, «Kochevnik»

**Suggested citation:** Sanaeva T.S. *Etnograficheskiy park «Kochevnik» kak primer kul'turno-poznavatel'nogo parka* [Ethnographic park «Kochevnik» as example of cultural and educational park]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 49–53. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-49-53

## References

- [1] Sokol'skaya O.B., Teodoronskiy V.S. *Spetsializirovannyye ob'yekty landshaftnoy arkhitektury: proyektirovaniye, stroitel'stvo, soderzhaniye* [Specialized objects of landscape architecture: design, construction, maintenance]. Saint Petersburg: Lan', 2015, 720 p.
- [2] Zorin A.N. *Osnovy etnografii* [Fundamentals of ethnography]. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy universitet [Kazan State University], 1994, 80 p.
- [3] *Etnoparki kak instrument garmonizatsii mezhdunarodnykh otnosheniy: Zarubezhnyy opyt i rossiyskiy potentsial* [Ethnoparks as an instrument of harmonization of international relations: Foreign experience and Russian potential]. Obshchestvenno-politicheskiy al'manakh. Poisk. Al'ternativa. Vybor. [Social and political almanac. Search. Alternative. The choice]. Available at: <http://newknowledge.ru/projects/pav> (accessed 15.01.2018).
- [4] *Etnopark «Kochevnik»* [Ethnographic park «Kochevnik»]. Available at: <http://ethno-park.ru/about> (accessed 25.12.2017).
- [5] *Rasteniya stepnoy zony* [Plants of the steppe zone]. Available at: <http://biofile.ru/bio/5057.html> (accessed 15.01.2018).
- [6] Shantser I.A. *Rasteniya sredney polosy Evropeyskoy Rossii: polevoy atlas* [Plants of the middle belt of European Russia: Field atlas]. Moscow: T-vo nauchnykh izdaniy KMK [KMK], 2007, 470 p.
- [7] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu. *Tsvetochnoye oformleniye* [Flower decoration]. Moscow: Akademiya, 2003, 108 p.
- [8] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu., Bobyleva O.N. *Tsvet v landshaftnom dizayne* [Color in landscape design]. Moscow: Fiton+, 2007, 128 p.
- [9] Gorodkov A.V., Saltanova E.I. *Ekologiya vizual'noy sredy* [Ecology of the visual environment]. Saint Petersburg: Lan', 2013, 192 p.
- [10] Kolesnikova E.G. *Redkiye odnoletniye tsvety* [Rare annual flowers]. Moscow: MSP, 2003, 192 p.
- [11] Petrenko N.A. *Odnoletniye i mnogoletniye dekorativnyye rasteniya dlya tsvetnikov: illyustrirovannyy atlas* [Annual and perennial ornamental plants for flower beds: an illustrated atlas]. Moscow: Fiton XXI, 2014, 368 p.
- [12] Zhelтовskaya T.T. *Dekorativnyye travy v dizayne sada* [Decorative grass in the garden design]. Moscow: Kladez'-Buks, 2008, 127 p.
- [13] Karpisonova R.A. *Tsvetovodstvo* [Floriculture]. Moscow: Kladez'-Buks, 2007, 256 p.
- [14] *Katalog mnogoletnikh travyanistykh rasteniy, vyrashchivayemykh v pitomnikakh APPM* [Catalog of perennial herbaceous plants grown in nurseries APPM]. Ed. I.Yu. Bochkova. Moscow: APPM, 2016, 368 p.
- [15] Strizhev A.A. *Russkoye raznotrav'ye* [Russian herbage]. Moscow: Obshchestvo sokhraneniya literaturnogo naslediya [Society for the Preservation of Literary Heritage], 2007, 568 p.

## Author's information

**Sanaeva Tat'yana Sergeevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Associated Professor of the Department of Landscape Architecture and Landscape Engineering at the BMSTU (Mytishchi branch), tsanaeva@gmail.com

Received 17.04.2018.

Accepted for publication 13.08.2018.

УДК 630.78

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-54-61

## МЕТОДИКА СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМОВ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ИХ РАБОТЫ

А.Н. Заикин<sup>1</sup>, В.В. Никитин<sup>2</sup>, Е.Н. Щербаков<sup>2</sup>, М.В. Муковнина<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет», 241037, г. Брянск, пр-т Станке Димитрова, д. 3

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

zaikin.anatolij@yandex.ru

Лесозаготовители в процессе своей работы непосредственно контактируют с природной средой. Следовательно, при выборе одного из известных или проектировании нового технологического процесса лесозаготовки возникает проблема воздействия лесосечной техники на лесную экосистему. В статье изложены результаты исследований по совершенствованию технологических процессов лесосечных работ на основе математического моделирования. Основная цель — увеличение объема выработки всего комплекта машин до уровня выработки ведущей машины. Приведены методика и пример вычисления количественных оценок снижения техногенного воздействия лесосечных машин на лесную экосистему. Исследования показывают, что удельное снижение объема вредных выбросов, например, оксида углерода СО колеблется в пределах 8...21 % от общего объема выбросов в зависимости от годового объема производства.

**Ключевые слова:** лесные экосистемы, вредное воздействие машин, вредные выбросы, выхлопные газы, комплект машин, режимы работы

**Ссылка для цитирования:** Заикин А.Н., Никитин В.В., Щербаков Е.Н., Муковнина М.В. Методика снижения объемов техногенного воздействия лесосечных машин на лесные экосистемы на основе математического моделирования режимов их работы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 54–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-54-61

Технологический процесс лесозаготовительного производства проходит под открытым небом, поэтому на рабочих и технику непосредственно воздействуют разнообразные природные факторы. Неравномерное распределение работ в процессе заготовки древесины связано с рассредоточенностью технологических операций по значительной территории и частым перемещением машин с одной лесосеки на другую. Следует также учитывать, что лесосечные работы выполняются с использованием различных технологических схем и разными комплектами машин.

Проблема снижения уровня негативного воздействия лесосечной техники на лесные экосистемы при различных видах рубок стала в последние десятилетия ключевой не только при проектировании новых машин, но и при организации их работы. Снижению техногенного воздействия лесных машин на окружающую среду и уменьшению экономических потерь, посвящены многочисленные научные работы [1–17].

### Цель работы

Цель работы — увеличить объем выработки всего комплекта машин до уровня выработки ведущей машины, используя результаты исследований по совершенствованию технологических процессов лесосечных работ на основе математического моделирования, рассчитать количественные оценки снижения техногенного воздействия лесосечных машин на лесную экосистему.

### Материалы и методы

Лесозаготовители в процессе своей работы непосредственно контактируют с природной средой. При выборе одного из известных или проектировании нового технологического процесса лесозаготовки необходимо уметь оценить воздействия комплекта лесосечной техники на лесную экосистему. Данная проблема весьма актуальна, а решение ее до сих пор не найдено из-за отсутствия количественных оценок этого воздействия [7].

Авторы работы [1] предлагают подразделять повреждения, причиняемые техникой окружающей среде, на четыре группы: 1) повреждение стволов деревьев и корневых шеек (разрывы, обдиры коры, облом сучьев, слом вершин, ошмыг крон); 2) повреждение корневой системы дерева (видимые и невидимые переломы, разрыв корней, обдир корневой коры); 3) нарушение почвенного покрова (уплотнение почвы, влекущее ухудшение питательных функций корневой системы, образование колеи, эрозия); 4) загрязнения лесных экосистем (ЛЭС) топливом, маслами и выхлопными газами.

Факторы, определяющие степень воздействия техники на лесные экосистемы, также предлагается подразделить на четыре базовые группы: природно-климатические, организационные, технологические и конструктивные.

Факторы первой группы обусловлены природой и потому неуправляемы. Остальные же три группы факторов обусловлены человеческой деятельностью.

К организационным факторам следует отнести отвод в рубку участка леса, выбор для его освоения технологии и комплекта машин, расчет оптимальных режимов работы техники, обеспечивающих максимальную выработку комплекта машин и, следовательно, освоение лесосеки в сжатые сроки. Также к этой группе относятся форма и уровень оплаты труда рабочих, занятых на лесозаготовках, их квалификация, форма контроля качества выполнения работ.

Наибольший интерес среди факторов этой группы представляют определение оптимальных режимов работы лесозаготовительной техники и организация ее функционирования, обеспечивающая максимальную выработку комплекта машин при минимальных экономических затратах, что, в свою очередь, влечет освоение лесосеки в сжатые сроки и, как следствие, снижение вредного воздействия машин на ЛЭС.

### Предложения по совершенствованию технологического процесса

Общеизвестно, что подобрать численность лесосечных машин в комплекте таким образом, чтобы объем выработки на всех операциях был идентичен, практически невозможно. Дисбаланс объемов выработки, в свою очередь, является причиной простоев наиболее производительных машин в комплекте и снижения общего объема выработки до уровня минимальной выработки на слабейшей операции. А это влечет за собой увеличение срока разработки лесосеки и рост эксплуатационных затрат.

Для увеличения объема выработки всего комплекта машин до уровня производительности звена ведущих машин и за счет этого снижения продолжительности разработки лесосеки и эксплуатационных затрат мы предлагаем на операциях с объемом выработки меньшим, чем  $Q_{\max}$ , на определенное, рассчитанное для данных производственных условий, время увеличивать численность и/или сменность работы на соответствующих операциях одной или нескольких основных машин.

Лесосечные операции технически и технологически увязаны между собой посредством перемещаемых запасов древесины. Для оперативного планирования и управления объемами этих запасов, необходимых в конкретных производственных условиях для различных вариантов комплектов машин, времени пополнения, потребления и выработки запасов, нами разработаны математические модели и ЭВМ-программы. Использование данных моделей позволяет рассчитывать оптимальные режимы работы комплекта

машин при условиях максимальной выработки и минимальных удельных эксплуатационных затрат за счет подключения дополнительного оборудования на отстающих операциях. Организация лесосечных работ с учетом поддержания оперативных запасов на рассчитанном для конкретных условий уровне, с применением маневрирования численностью и/или сменностью работы машин на отстающих операциях, позволяет увеличить объем выработки всего комплекта машин и, как следствие, сократить сроки разработки лесосеки, снизить эксплуатационные затраты и вредное воздействие на ЛЭС [18].

### Методика и пример расчета снижения объемов техногенного воздействия лесосечных машин на лесные экосистемы

Допустим, что разработка лесосеки осуществляется комплектом машин в составе одной ЛП-19, двух ЛТ-154 и одной ЛП-33А, при среднем расстоянии трелевки до 300 м, среднем объеме хлыста 0,22...0,29 м<sup>3</sup>. Используя единые нормы выработки машин [19–22], определим максимальный и минимальный объемы выработки комплекта машин, которые составят 174 и 123 м<sup>3</sup> соответственно. Разность между максимальным и минимальным значениями объемов выработки за день (т. е. потенциальное увеличение объема выработки комплекта машин) составляет 51 м<sup>3</sup>. При увеличении среднего объема хлыста эта разность может возрасти до 95 м<sup>3</sup> (табл. 1).

Число дней, на которое сокращается срок разработки лесосеки при изменении численности лесосечных машин (или сменности их работы), определяется как разность между значениями длительности периода освоения лесосеки при условиях минимальной и максимальной выработки комплекта машин на конкретной лесосеке

$$D_{эв} = D_{ро} - D_{рд}, \quad (1)$$

где  $D_{ро}$  и  $D_{рд}$  — длительность периода разработки лесосеки, дней, при минимальной и максимальной выработке комплекта машин соответственно.

Поддержание оперативных запасов на определенном уровне, рассчитанном для конкретных производственных условий с учетом подключения дополнительных машин на отстающих операциях, дает возможность увеличить объем выработки комплекта машин до 40 % (см. табл. 1) и уменьшить число дней работы машин на лесосеке до 30 % (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

**Значение нормы выработки, максимального и минимального объемов выработки комплекта машин и разности между ними для различных объемов хлыста**

**The value of the production rate, the maximum and minimum volumes of production by a set of machines and the difference between them for different volumes of tree length**

| Средний объем хлыста $q_{хл}$ , м <sup>3</sup> | Объем выработки комплекта машин, м <sup>3</sup> /день |                |                |                 |             | Увеличение объема выработки |      |
|--|---|----------------|----------------|-----------------|-------------|-----------------------------|------|
|  | Норма выработки                                       |                |                | Объем выработки |             |                             |      |
|  | ЛП-19 (1 шт.)   | ЛТ-154 (2 шт.) | ЛП-33А (1 шт.) | $\Pi_{max}$     | $\Pi_{min}$ | м <sup>3</sup> / день       | %    |
| 0,22–0,29                                      | 165   | 174            | 123            | 174             | 123         | 51                          | 41,5 |
| 0,30–0,39                                      | 195   | 200            | 144            | 200             | 144         | 56                          | 38,9 |
| 0,40–0,49                                      | 225   | 218            | 163            | 225             | 163         | 62                          | 38,0 |
| 0,50–0,75                                      | 265   | 234            | 190            | 265             | 190         | 75                          | 39,5 |
| 0,76–1,10                                      | 310   | 248            | 223            | 310             | 223         | 87                          | 39,0 |
| 1,1 и более                                    | 355   | 264            | 260            | 355             | 260         | 95                          | 36,5 |

Т а б л и ц а 2

**Сокращение периода разработки лесосеки в зависимости от среднего объема хлыста и годового объема производства**

**Logging area reduction period depending on the average volume of the tree length and the annual production**

| Объем производства, тыс. м <sup>3</sup> | Число дней, на которое сокращается продолжительность разработки лесосеки, при среднем объеме хлыста $q_{хл}$ , м <sup>3</sup> , равном |          |          |          |          |                   |
|---|--|----------|----------|----------|----------|-------------------|
|   | 0,2–0,29   | 0,3–0,39 | 0,4–0,49 | 0,5–0,75 | 0,76–1,0 | $q_{хл} \geq 1,1$ |
| 12                                      | 28   | 23       | 21       | 18       | 16       | 12                |
| 14                                      | 34   | 27       | 24       | 21       | 18       | 14                |
| 16                                      | 38   | 31       | 27       | 24       | 20       | 16                |
| 18                                      | 43   | 35       | 30       | 27       | 23       | 18                |
| 20                                      | 48   | 39       | 34       | 30       | 25       | 21                |
| 22                                      | 53   | 43       | 37       | 33       | 28       | 23                |
| 24                                      | 57   | 47       | 40       | 35       | 30       | 25                |
| 26                                      | 62   | 51       | 44       | 39       | 33       | 27                |
| 28                                      | 67   | 54       | 48       | 41       | 36       | 29                |
| 30                                      | 72   | 58       | 51       | 45       | 38       | 30                |

Ускорение освоения отведенной в рубку лесосеки позволяет уменьшить вредное воздействие машин на лесные экосистемы. Это уменьшение достигается за счет следующих факторов. Во-первых, уменьшится объем вредных выбросов (СО, NO<sub>x</sub>, СН и прочих соединений), поступающих в атмосферу с выхлопными газами и загрязняющих ее.

Во-вторых, увеличится время, доступное для проведения технического обслуживания и ухода за машинами, что даст возможность повысить экологичность машин. Эта тема в настоящее время недостаточно изучена, а ее результаты практически не используются в производственной практике. Поэтому нами была поставлена задача: разработать методику оценки и снижения объемов негативного воздействия лесосечных машин на ЛЭС на основании расчета режимов работы

машин и организации технологического процесса, который обеспечил бы снижение уровня вредного воздействия машин на ЛЭС в различных природно-производственных условиях.

Суть предлагаемой нами методики заключается в следующем. Объем отравляющих веществ, выбрасываемых в атмосферу с отработавшими газами двигателей лесных машин, можно определить по формуле:

$$V_B = \sum q_{sji} N_{eji} n_{ji} D_{ji} T_{cm} k_{ji}, \quad (2)$$

где  $q_{sji}$  — удельный объем выбросов каждого  $s$ -го элемента, мг/ч,  $j$ -м типом машин на  $i$ -й операции;

$N_{eji}$  — мощность двигателя  $j$ -й машины  $i$ -й операции, кВт;



$n_{ji}$  — количество работающих машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции;  
 $D_{ji}$  — число дней работы машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции;  
 $T_{см}$  — продолжительность смены, ч;  
 $k_{ji}$  — коэффициент сменности работы машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции.

В результате сокращения продолжительности разработки лесосеки будет снижаться и вредное воздействие лесосечных машин на окружающую среду: объем вредных выбросов в атмосферу с выхлопными газами; вредное воздействие на почвенный покров, особенно в весенний период; шумовое воздействие и пр.

Объем снижения вредных выбросов рассчитывается по формуле

$$V_{BS} = \sum q_{sji} N_{еji} n_{ji} D_{эв} T_{см} k_{ji}, \quad (3)$$

где  $D_{эв}$  — число дней, на которое сокращается время разработки лесосеки.

Период освоения лесосеки сокращается за счет увеличения численности или сменности работы лесосечных машин на отстающих операциях. Если срок разработки лесосеки не сокращать, то будут дополнительно производиться выбросы вредных веществ в атмосферу, объем которых можно оценить по формуле

$$V_{BS}^{(\delta)} = \sum q_{sji} N_{еji}^{(\delta)} n_{ji}^{(\delta)} D_{ji}^{(\delta)} T_{см} k_{ji}^{(\delta)}, \quad (4)$$

где  $N_{еji}^{(\delta)}$  — мощность двигателя дополнительной машины  $j$ -го типа на  $i$ -й операции;

$n_{ji}^{(\delta)}$  — количество (как правило, одна) дополнительных машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции;

$D_{ji}^{(\delta)}$  — число дней работы дополнительных машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции, определяется по методике [18];

$k_{ji}^{(\delta)}$  — коэффициент сменности работы (как правило,  $k_{ji}^{(\delta)} = 1$ ) дополнительных машин  $j$ -го типа на  $i$ -й операции.

Число дней работы  $D_{ji}^{(\delta)}$  дополнительного оборудования  $j$ -го типа на  $i$ -й операции на весь период разработки лесосеки определяется по методике, изложенной в [18], как произведение продолжительности работы  $t_{ji}$  этих машин за каждый отдельный месяц на число месяцев  $n_m$  разработки лесосеки

$$D_{ji}^{(\delta)} = t_{ij} n_m. \quad (5)$$

В случае, если продолжительность работы дополнительных машин  $t_{ji}$  в каждом отдельном месяце не равны между собой, число дней работы дополнительного оборудования можно рассчитать по формуле

$$D_{ji}^{(\delta)} = \sum t_{ji}. \quad (6)$$

Число месяцев разработки лесосеки можно рассчитать как частное от деления ликвидного запаса древесины на лесосеке  $Q_{л}$  на объем древесины, заготавливаемой в месяц ( $Q_{м} = Q_{\max} T_n$ ):

$$n_m = \frac{Q_{л}}{Q_{м}}, \quad (7)$$

где  $T_n$  — число дней работы в расчетном месяце.

Тогда абсолютное уменьшение объема вредных выбросов в атмосферу каждого отдельного  $s$ -го элемента может быть рассчитано по формуле

$$V_{BS}^{(a)} = V_{BS} - V_{BS}^{(\delta)}. \quad (8)$$

Результаты расчетов абсолютного снижения объема вредных выбросов, в частности оксида углерода CO, в зависимости от среднего объема хлыста и годового объема производства представлены в виде графической модели (рис. 1).

Абсолютное снижение объема вредных выбросов — оксида углерода CO, выраженное в процентах от общего объема его выбросов за весь срок разработки лесосеки, приведено на рис. 2.

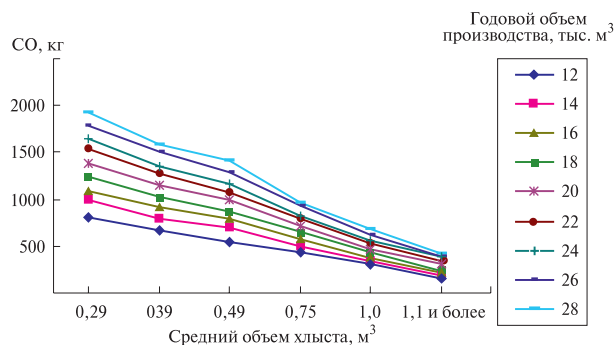


Рис. 1. Зависимость абсолютного снижения объемов вредных выбросов от среднего объема хлыста и годового объема производства

Fig. 1. The dependence of the absolute reduction of harmful emissions on the average volume of the tree length and the annual production

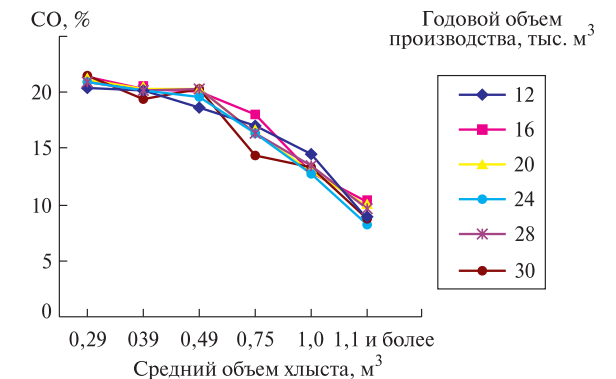


Рис. 2. Абсолютное снижение объема вредных выбросов CO, в % от общего объема выбросов

Fig. 2. Absolute reduction of CO emissions, % of total emissions

Т а б л и ц а 3

**Зависимость площади лесных почв, га, сохранных от разрушения,  
от годового объема производства и среднего объема хлыста (min–max)**

**Dependence of the area of forest soils, hectares, saved from destruction, on the annual production  
and the average volume of the tree length (min–max)**

| Средний<br>объем хлыста<br>$q_{хл}$ , м <sup>3</sup> | Годовой объем производства, тыс. м <sup>3</sup> |        |        |        |        |        |        |        |        |
|--|---|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|  | 12  | 14     | 16     | 18     | 20     | 22     | 24     | 26     | 28     |
|  | Площадь сохранных лесных почв, га               |        |        |        |        |        |        |        |        |
| 0,22–0,29  | 4,0–41  | 4,9–49 | 5,5–55 | 6,2–62 | 6,9–69 | 7,7–77 | 8,3–83 | 9,0–90 | 9,7–97 |
| 0,3–0,39   | 3,8–38  | 4,5–45 | 5,1–51 | 5,8–58 | 6,5–65 | 7,2–72 | 8,5–85 | 8,5–85 | 9,0–90 |
| 0,4–0,49   | 3,9–39  | 4,5–45 | 5,1–51 | 5,5–56 | 6,4–64 | 6,9–69 | 8,2–82 | 8,2–82 | 9,0–90 |
| 0,5–0,75   | 4,0–40  | 4,6–46 | 5,3–53 | 6,0–60 | 6,6–66 | 7,3–73 | 8,6–86 | 8,6–86 | 9,0–90 |
| 0,76–1,0   | 4,1–41  | 4,6–46 | 5,2–52 | 5,9–59 | 6,6–65 | 7,2–72 | 8,5–85 | 8,5–85 | 9,3–93 |
| 1,1 и более  | 3,6–36  | 4,4–44 | 5,0–50 | 5,3–53 | 6,2–62 | 6,8–68 | 8,0–80 | 8,0–80 | 8,6–86 |

## Результаты и обсуждение

Предложенный нами метод расчета режимов работы лесосечных машин, как показывают производственные исследования и исследования на модели, позволяют значительно сократить продолжительность разработки лесосек, а также заранее проанализировать возможные технологические варианты освоения лесосек, своевременно начать и закончить разработку каждой конкретной лесосеки.

Площадь лесных почв, сохранных от разрушения, зависит от числа дней, на которое уменьшится срок разработки лесосеки, дневного объема выработки комплекта лесосечных машин и среднего запаса древесины на гектаре

$$S_c = \frac{Q_{\max} D_{эв}}{g_{\text{ср}}} K_{эв}, \quad (9)$$

где  $g_{\text{ср}}$  — средний запас древесины, м<sup>3</sup>/га;

$K_{эв}$  — коэффициент использования сэкономленного времени ( $K_{эв} = 0,1-1$ ).

Результаты расчетов площадей лесных почв, предохраненных от разрушения, в зависимости от годового объема производства и среднего объема хлыста приведены в табл. 3.

## Выводы

Из рис. 2 видно, что объем вредных выбросов СО снижается на 8...21 %. В то же время для значений среднего объема хлыста в диапазоне 0,22...0,29 м<sup>3</sup> это снижение находится в пределах 20...21 %, а для значений 1,1 м<sup>3</sup> и более — в пределах 8...10 %. Иначе говоря, для одной и той же величины объема хлыста значение абсолютного снижения объема вредных выбросов изменяется незначительно. Между тем для одного и того же значения объема производства с ростом величины среднего объема хлыста объем вредных выбросов снижается более чем в 2 раза.

Полученная зависимость имеет линейный характер. Для фиксированного значения объема хлыста при увеличении годового объема производства наблюдается рост объема вредных выбросов СО. Напротив, с возрастанием объема хлыста при одном и том же объеме производства объем вредных выбросов снижается. Это объясняется тем, что в первом случае число дней разработки лесосеки увеличивается, а во втором — уменьшается (см. табл. 2).

Анализ результатов, приведенных табл. 3, показывает, что даже при минимально возможном коэффициенте использования сэкономленного времени площади лесных почв, сохранных от разрушения, достигают значительных размеров, в среднем 4...10 га.

При разработке зимних лесосек желательно завершать лесосечные операции до начала интенсивного таяния снега. При разработке летних лесосек есть возможность компенсировать возможные простои машин из-за затяжных дождей, обеспечить соответствующее увеличение объемов выработки машин на каждой операции дополнительным комплектом машин. Такая организация работы позволяет эксплуатировать лесосечные машины в более сухой период времени, что значительно снижает их вредное воздействие на почвенный покров.

## Список литературы

- [1] Герасимов Ю.Ю., Сюнев В.С. Экологическая оптимизация технологических процессов и машин для лесозаготовок. Финляндия. Йюэнсуу: Изд-во университета Йюэнсуу, 1998. 178 с.
- [2] Жидков А.Н. Нормирование техногенного воздействия на леса // Лесное хозяйство, 2000. № 1. С. 37–39.
- [3] Климов О.Г. Влияние выбросов лесохозяйственных тракторов на состояние экологии // Лесное хозяйство, 2003. № 1. С. 46, 47.
- [4] Климов О.Г., Доронищева Е.Г. О концентрации в воздухе загрязняющих веществ, выбрасываемых лесопромышленной техникой // Лесное хозяйство, 2003. № 4. С. 48.

- [5] Николаевский В.С. Биологические основы газоустойчивости растений. Новосибирск: Наука, 1979. 278 с.
- [6] Обыденников В.И. Лесоводственно-экологические аспекты оценки систем рубок главного пользования и лесосечных машин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2004. № 5. С. 75–80.
- [7] Полеготченков В.С., Заикин А.Н. Перспективные методы и направления снижения вредных воздействий лесозаготовительных машин на лесные экосистемы // Альтернативные транспортные технологии, 2018. Т. 5. № 1 (8). С. 309–312.
- [8] Заикин А.Н., Рыжикова Е.Г., Теремкова И.И. Метод оперативного планирования и управления лесосечными работами // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2017. № 2 (356). С. 107–118.
- [9] Заикин А.Н., Теремкова И.И., Афоничев Д.Н. Методика автоматизированного оперативного планирования лесосечных работ // Вестник Воронежского государственного аграрного университета, 2017. № 3 (54). С. 102–109.
- [10] Заикин А.Н., Меркелов В.М., Рыжикова Е.Е., Теремкова И.И. Методика расчета объемов снижения потребления топлива лесосечными машинами // Актуальные проблемы развития лесного комплекса и ландшафтной архитектуры: Материалы Международной научно-практической конференции. Брянск, БГИТА, 6–7 апреля 2016 г. Брянск: Брянский государственный инженерно-технологический университет, 2016. С. 86–88.
- [11] Заикин А.Н., Рыжикова Е.Г., Теремкова И.И., Меркелов В.М. К вопросу о работоспособности многооперационных технологических систем // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2015. Т. 3. № 2–1 (13–1). С. 216–220.
- [12] Заикин А.Н., Рыжикова Е.Г. Методика расчета продолжительности и оценки энергозатрат работы лесосечных машин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2015, № 1 (343). С. 94–102.
- [13] Заикин А.Н., Ильяхин Д.С., Рыжикова Е.Г., Теремкова И.И. Результаты моделирования работы лесосечных машин и определения объемов снижения негативного воздействия лесосечных машин на лесные экосистемы // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2014. Т. 2. № 3–4 (8–4). С. 212–216.
- [14] Заикин А.Н., Меркелов В.М., Рыжикова Е.Г., Теремкова И.И. Методика расчета снижения объемов вредных выбросов в атмосферу с отработавшими газами лесосечных машин // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2014. № 40. С. 9–12.
- [15] Zaikin A.N., Nikitin V.V., Mukovnina M.V., Scherbakov E.N. Reducing Industrial Impact on Forest Ecosystems by Improving the Organization of Harvesting Operations // Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering, 2018, v. 11 (60), no. 1, pp. 69–76.
- [16] Korotkov S.A., Lopatnikov M.V., Nikitin V.V. Forest-use Issues in Moscow Region at the Beginning of 21st Century // Bulletin of the Transilvania University of Braşov, 2016, v. 9 (58), no. 2, pp. 17–24.
- [17] Nikitin V.V., Mukovnina M.V. Estimation of Forestry Losses at Off-the-road Operations // Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Council on Forest Engineering / Eds S.A. Baker, M.C. Bolding, W.D. Greene. Charleston S.C., June 2008. P. 131–136.
- [18] Заикин А.Н. Моделирование режимов работы лесосечных машин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2009. № 1. С. 71–77.
- [19] Единые нормы выработки и расценки на лесозаготовительные работы. М.: Экономика, 1989. 94 с.
- [20] Редькин А.К., Якимович С.Б. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок. М.: МГУЛ, 2005. 504 с.
- [21] Nikitin V.V. Forest Road Network Optimal Density. Environmental Outlook // Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Council on Forest Engineering / Eds S.A. Baker, M.C. Bolding, W.D. Greene. Charleston S.C., June 2008. P. 245.
- [22] 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.

## Сведения об авторах

**Заикин Анатолий Николаевич** — д-р техн. наук, профессор Брянского государственного инженерно-технологического университета, zaikin.anatolij@yandex.ru

**Никитин Владимир Валентинович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), nick@mgul.ac.ru

**Щербаков Евгений Николаевич** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), scherbakov@mgul.ac.ru

**Муковнина Марина Валериевна** — ведущий аналитик МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), mukovnina@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 17.09.2018.

Принята к публикации 22.10.2018.

# METHOD OF DECREASE OF FOREST MACHINERY TECHNOGENIC IMPACT ON FOREST ECOSYSTEMS BASED ON OPERATING MODES SIMULATING

A.N. Zaikin<sup>1</sup>, V.V. Nikitin<sup>2</sup>, E.N. Shcherbakov<sup>2</sup>, M.V. Mukovnina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bryansk State Engineering and Technology University, 3, Stanke Dimitrova, av., 241037, Bryansk, Russia

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

zaikin.anatolij@yandex.ru

Forest industry directly contacts the nature. Therefore, while setting the technological requirements to forest machinery system an engineer should take into account the environmental impact of its future operation. Authors consider this problem topical and still unsolved, mostly due to this implication quantitative estimating technique absence. Hence, the article contains some results of research of forest operations technology enhancement based on its stimulation. The aim was to increase the harvesting system output up to the leading machine labor capacity level and as a result to decrease the cutting time. Using the stimulating analysis, the authors propose the approach and the pattern for the numerical estimation of harvesting machines technogenic impact on the forest ecosystems. In particular, the research proves that the absolute carbon oxide (CO) reduction in percentage terms to machines emission general volume during logging time is from 8 to 21% depending of annual felling volume.

**Keywords:** forest ecosystems, machines negative effect, polluting emissions, exhaust fumes, set of machines, harvesting system, operating modes

**Suggested citation:** Zaikin A.N., Nikitin V.V., Shcherbakov E.N., Mukovnina M.V. *Metodika snizheniya ob'emov tekhnogenogo vozdeystviya lesosechnykh mashin na lesnye ekosistemy na osnove matematicheskogo modelirovaniya rezhimov ikh raboty* [Method of decrease of forest machinery technogenic impact on forest ecosystems based on operating modes simulating]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 54–61. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-54-61

## References

- [1] Gerasimov Yu.Yu., Syuney V.S. *Ekologicheskaya optimizatsiya tekhnologicheskikh protsessov i mashin dlya lesozagotovok* [Ecological optimization of technological processes and machines for logging]. Joensuu: Izd-vo universiteta Yoensuu [University of Joensuu], 1998, 178 p.
- [2] Zhidkov A.N. *Normirovanie tekhnogenogo vozdeystviya na lesa* [Normalization of technogenic impact on forest]. *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry], 2000, no. 1, pp. 37–39.
- [3] Klimov O.G. *Vliyaniye vybrosov lesokhozyaystvennykh traktorov na sostoyaniye ekologii* [Effect of emissions of forestry tractors on the state of the environment]. *Lesnoye Khozyaystvo* [Forestry], 2003, no. 1, pp. 46, 47.
- [4] Klimov O.G., Doronicheva E.G. *O kontsentratsii v vozdukh zagryaznyayushchikh veshchestv, vybrasyvaemykh lesopromyshlennoy tekhnikoy* [On the concentration of pollutants emitted by forestry machinery in the air]. *Lesnoye Khozyaystvo* [Forestry], 2003, no. 4, p. 48.
- [5] Nikolaevskiy V.S. *Biologicheskie osnovy gazoustoychivosti rasteniy* [Biological basis of gas resistance of plants]. Novosibirsk: Nauka, 1979, 278 p.
- [6] Obydennikov V.I. *Lesovodstvenno-ekologicheskie aspekty otsenki sistem rubok glavnogo pol'zovaniya i lesosechnykh mashin* [Forest-ecological aspects of evaluation of felling systems for main use and logging machines]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2004, no. 5, pp. 75–80.
- [7] Polegotchenkov V.S., Zaikin A.N. *Perspektivnye metody i napravleniya snizheniya vrednykh vozdeystviy lesozagotovitel'nykh mashin na lesnye ekosistemy* [Perspective methods and directions for reducing harmful effects of forest harvesters on forest ecosystems]. *Alternativnye transportnye tekhnologii* [Alternative Transport Technologies], 2018, v. 5, no. 1 (8), pp. 309–312.
- [8] Zaikin A.N., Ryzhikova E.G., Teremkova I.I. *Metod operativnogo planirovaniya i upravleniya lesosechnymi robotami* [The method of operational planning and management of logging operations]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2017, no. 2 (356), pp. 107–118.
- [9] Zaikin A.N., Teremkova I.I., Afonichev D.N. *Metodika avtomatizirovannogo operativnogo planirovaniya lesosechnykh robot* [Technique of automated operational planning of logging operations]. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Voronezh State Agrarian University], 2017, no. 3 (54), pp. 102–109.
- [10] Zaikin A.N., Merkelov V.M., Ryzhikova E.E., Teremkova I.I. *Metodika rascheta ob'emov snizheniya potrebleniya topliva lesosechnymi mashinami* [Methodology for calculating the volumes of fuel consumption reduction by logging machines]. *Aktual'nye problemy razvitiya lesnogo kompleksa i landshaftnoy arkhitektury: Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Bryansk, BGITA, 6–7 aprelya 2016 g.* [Actual problems of forest complex development and landscape architecture: Materials of the International Scientific and Practical Conference. Bryansk, BGITA, 6–7 April 2016]. Bryansk: [BGITA], 2016, pp. 86–88.
- [11] Zaikin A.N., Ryzhikova E.G., Teremkova I.I., Merkelov V.M. *K voprosu o rabotosposobnosti mnogooperatsionnykh tekhnologicheskikh sistem* [To the question of the efficiency of multi-operational technological systems]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, v. 3, no. 2–1 (13–1), pp. 216–220.
- [12] Zaikin A.N., Ryzhikova E.G. *Metodika rascheta prodolzhitel'nosti i otsenki energozatrat raboty lesosechnykh mashin* [Methodology for calculating the duration and assessment of energy consumption of logging machines]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2015, no. 1 (343), pp. 94–102.



- [13] Zaikin A.N., Il'yukhin D.S., Ryzhikova E.G., Teremkova I.I. *Rezultaty modelirovaniya raboty lesosechnykh mashin i opredeleniya ob'emov snizheniya negativnogo vozdeystviya lesosechnykh mashin na lesnye ekosistemy* [The results of modeling the work of logging machines and determining the reduction in the negative impact of logging machines on forest ecosystems]. *Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current trends in scientific research in the 21st century: theory and practice], 2014, v. 2, no. 3–4 (8–4), pp. 212–216.
- [14] Zaikin A.N., Merkelov V.M., Ryzhikova E.G., Teremkova I.I. *Metodika rascheta snizheniya ob'emov vrednykh vybrosov v atmosferu s otrabotavshimi gazami lesosechnykh mashin* [Methodology for calculating the reduction in the volume of harmful emissions to the atmosphere with the exhaust gases of logging machines]. *Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2014, no. 40, pp. 9–12.
- [15] Zaikin A.N., Nikitin V. V., Mukovnina M.V., Scherbakov E.N. Reducing Industrial Impact on Forest Ecosystems by the Improving the Organization of Harvesting Operations. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov, Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*, 2018, v. 11 (60), no. 1, pp. 69–76.
- [16] Korotkov S.A., Lopatnikov M.V., Nikitin V.V. Forest-use Issues in the Moscow Region at the Beginning of 21st Century] *Bulletin of the Transilvania University of Braşov*, 2016, v. 9 (58), no. 2, pp. 17–24.
- [17] Nikitin V.V., Mukovnina M.V. Estimation of Forestry Losses at the Off-the-road Operations. *Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Council on Forest Engineering*. Eds. S.A. Baker, M.C. Bolding, W.D. Greene. Charleston S.C., June 2008, pp. 131–136.
- [18] Zaikin A.N. *Modelirovanie rezhimov raboty lesosechnykh mashin* [Modeling of operating modes of logging machines]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal*, 2009, no. 1, pp. 71–77.
- [19] *Edinye normy vyrabotki i rastsenki na lesozagotovitel'nye raboty* [Unified norms for the development and pricing of logging operations]. Moscow: *Ekonomika* [Economics], 1989, 94 p.
- [20] Red'kin A.K., Yakimovich S.B. *Matematicheskoe modelirovanie i optimizatsiya tekhnologiy lesozagotovok* [Mathematical modeling and optimization of logging technologies]. Moscow: MGUL, 2005, 504 p.
- [21] Nikitin V.V. Forest Road Network Optimal Density. *Environmental Outlook. Proceedings of the 31st Annual Meeting of the Council on Forest Engineering / Eds. S.A. Baker, M.C. Bolding, W.D. Greene. Charleston S.C., June 2008*, p. 245.
- [22] 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.

## Authors' information

**Zaikin Anatoliy Nikolaevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of Bryansk State Engineering and Technology University, zaikin.anatolij@yandex.ru

**Nikitin Vladimir Valentinovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), nick@mgul.ac.ru

**Shcherbakov Evgeniy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), scherbakov@mgul.ac.ru

**Mukovnina Marina Valerievna** — Leading Analyst of the BMSTU (Mytishchi branch), mukovnina@mgul.ac.ru

Received 17.09.2018.

Accepted for publication 22.10.2018.

## ЗАЩИТА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ОТ УТЕЧЕК РАБОЧЕЙ ЖИДКОСТИ ПРИ РАЗРЫВЕ РУКАВОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ ГИДРОПРИВОДА МАНИПУЛЯТОРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

В.В. Лозовецкий<sup>1</sup>, В.Ф. Константинов<sup>1</sup>, В.М. Черкина<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО Московский государственный строительный университет, Москва, Ярославское шоссе, д. 26

lozovetsky@mail.ru

Проведен анализ отказов гидроприводов манипуляторов транспортных средств, который показал, что основной их причиной является выход из строя рукавов высокого давления (РВД). Выявлен основной параметр их технического состояния — податливость, которая связана с логарифмическим декрементом колебания давления. Определен характер изменения данного параметра при эксплуатации РВД до достижения предельного состояния. Предложена конструкция защитного устройства, предотвращающего потери рабочей жидкости, находящейся в гидроцилиндре в момент повреждения РВД. Определена величина падения давления в зоне чувствительного элемента, которое обеспечивает срабатывание клапана, предотвращающего утечки.

**Ключевые слова:** гидропривод, рукав высокого давления, рабочая жидкость, податливость, логарифмический декремент колебания давления, манипулятор

**Ссылка для цитирования:** Лозовецкий В.В., Константинов В.Ф., Черкина В.М. Защита окружающей среды от утечек рабочей жидкости при разрыве рукавов высокого давления гидропривода манипуляторов транспортных средств // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 62–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-62-68

Гидроприводы и их элементы — сложные динамические системы, работающие в условиях изменяющихся внешних воздействий, на надежность которых при эксплуатации оказывают влияние различные факторы: параметры окружающей среды, режимы работы, особенности конструктивного исполнения гидропривода, стационарность или мобильность применения, состояние организационно-эксплуатационных условий, квалификация обслуживающего персонала и наличие эффективных средств диагностирования и др.

Для поддержания гидропривода машин в исправном и работоспособном состоянии и своевременного обнаружения внезапно возникшего отказа необходимо периодически контролировать техническое состояние гидравлического оборудования. Средства технической диагностики позволяют: своевременно обнаружить возможность внезапного отказа; распознать характер и место скрытой неисправности; определить текущее рабочее состояние оборудования, его пригодность к дальнейшему использованию, степень удаленности от предельного состояния; предотвратить повреждения гидрооборудования, последующий ремонт и простой машины до восстановления работоспособного состояния. Таким образом, своевременное обнаружение неисправностей с помощью средств диагностики является более целесообразным, чем устранение отказа путем замены поврежденного гидрооборудования, так как позволяет снизить затраты на эксплуатацию гидрофицированных машин и их ремонт.

### Цель работы

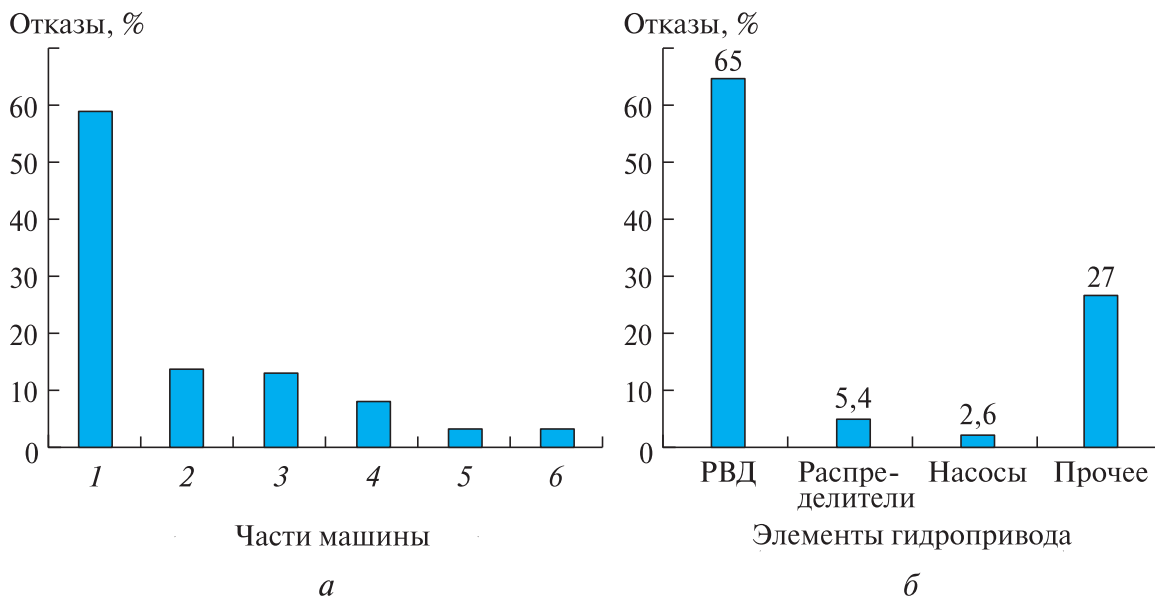
Цель работы — провести анализ отказов гидроприводов манипуляторов транспортных средств, доказать, что основной их причиной является выход из строя рукавов высокого давления (РВД).

### Материалы и методы

На рис. 1 приведены данные об отказах разных частей одной из машин лесного комплекса — машины «Урал-4320» с гидроманипулятором марки СФ-65С [1, 2].

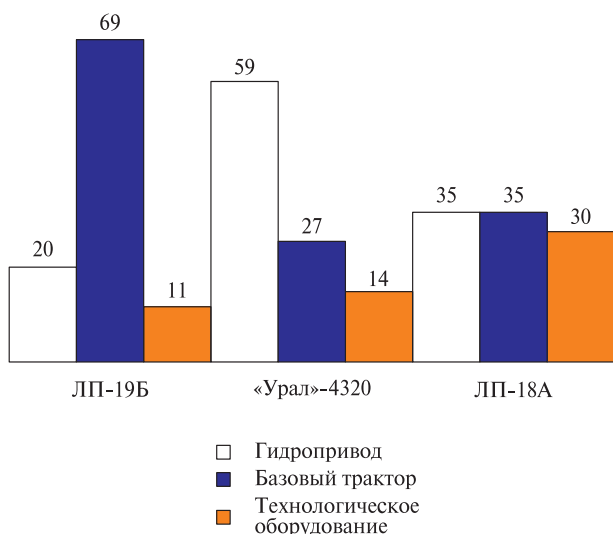
Анализ результатов исследования (рис. 1, а) показывает, что отказы гидропривода составляют 59 % от общего количества отказов по машине, а распределение отказов гидроприводов машины «Урал-4320» по элементам (рис. 1, б) свидетельствует о том, что чаще всего выходят из строя рукава высокого давления (65 % от общего количества отказов по гидроприводу).

Распределение количества отказов по машинам манипуляторного типа (рис. 2) [1, 3, 4] свидетельствует о том, что наименее надежными узлами данных машин являются гидроприводы, а наименее надежными элементами гидроприводов — РВД. Выход РВД из строя приводит к отказу систем управления транспортных средств и, соответственно, к большим человеческим жертвам, значительным потерям дорогостоящей рабочей жидкости, загрязнению окружающей среды и к пожарам на больших площадях лесных массивов и сельскохозяйственных угодий.



**Рис. 1.** Отказы разных частей машины «Урал-4320» с гидроманипулятором марки СФ-65С (а) и разных элементов гидроприводов машины (б): 1 — гидропривод; 2 — технологическое оборудование; 3 — прочее; 4 — ходовая часть; 5 — трансмиссия; 6 — двигатель [1, 2]

**Fig. 1.** Failures of different parts in Ural-4320 machine with a hydraulic manipulator of the SF-65S brand (a) and various elements of the hydraulic drives in the machine (b): 1 — hydraulic drive; 2 — technological equipment; 3 — other; 4 — running gear; 5 — transmission; 6 — engine [1, 2]



**Рис. 2.** Количество отказов, %, гидропривода, базового трактора и технологического оборудования для лесных машин ЛП-19Б, «Урал-4320» и ЛП-18А

**Fig. 2.** The number of failures, % of a hydraulic drive in a basic tractor and technological equipment for forest machines LP-19B, Ural-4320 and LP-18A

Параметром их технического состояния является податливость, которая связана с логарифмическим декрементом колебания давления в РВД. Необходимо определить характер изменения данного параметра РВД при их эксплуатации до достижения предельного состояния. Это позволит предотвращать тяжелые аварии при работе лесных машин.

Для создания системы автоматической защиты гидроприводов требуется решить следующие задачи: выявление начала процесса потери рабочей жидкости; изоляция поврежденного элемента от источника ее подачи. Потери рабочей жидкости могут быть большой интенсивности (выброс) и малой интенсивности (утечки).

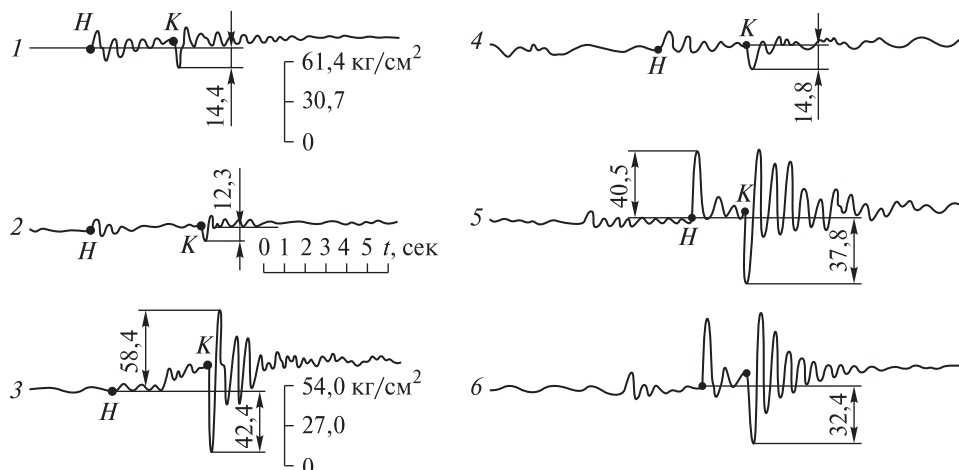
Выброс происходит при существенных повреждениях гидролиний (например, при вырыве накопника рукава из заделки), приводящих к образованию отверстия с большим проходным сечением и к падению давления в напорной магистрали.

Утечки характерны для негерметичных соединений гидролиний, повреждений с образованием отверстий с малым проходным сечением (свищи и т. п.). В этом случае индикация момента аварии не может осуществляться по величине рабочего давления. Оптимальный метод выявления утечек — автоматический контроль уровня рабочей жидкости в гидробаке.

### Результаты и обсуждение

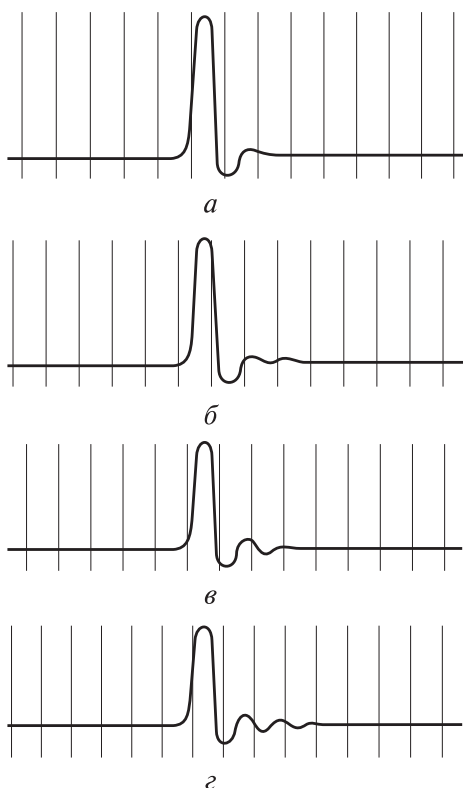
Как показали экспериментальные исследования, изменение давления в гидроцилиндрах манипулятора носит колебательный характер с явно выраженными пиками (рис. 3).

На рис. 4 представлены осциллограммы экспериментальных исследований рукавов высокого давления длиной 0,85 метра с внутренним диаметром 10 мм, которые показывают, что в результате динамических нагружений РВД наблюдается уменьшение их коэффициента податливости,



**Рис. 3.** Осциллограммы давления стрелового манипулятора: 1, 2 — давление в цилиндре стрелы при опускании рукояти с деревом весом 900 и 450 кг соответственно; 3, 4 — давление в цилиндре рукояти при опускании стрелы с большой и малой скоростью соответственно; 5, 6 — давление в цилиндре рукояти при опускании стрелы со стволом в горизонтальном и вертикальном положениях соответственно (*H* — начало движения, *K* — конец движения)

**Fig. 3.** Oscillograms of pressure in a boom manipulator: 1, 2 — pressure in the cylinder in the boom when lowering the handle with a tree weighing 900 and 450 kg, respectively; 3, 4 — pressure in the cylinder of the handle when lowering the boom with high and low speed, respectively; 5, 6 — pressure in the cylinder of the handle when lowering the boom with the barrel in the horizontal and vertical positions, respectively (*H* — the beginning of the movement, *K* — the end of the movement)



**Рис. 4.** Осциллограммы экспериментальных исследований РВД длиной 0,85 метра с внутренним диаметром 10 мм; количество моточасов *N* равно: а — 0; б — 750; в — 1500; г — 2180

**Fig. 4.** Oscillograms of experimental studies of HPH with a length of 0.85 meters with an internal diameter of 10 mm; the number of hours *N* is: а — 0; б — 750; в — 1500; г — 2180

т. е. потеря упругих свойств материала. Это приводит к уменьшению начальной амплитуды колебаний и увеличению длительности колебательного процесса при появлении и развитии неисправностей [1, 3, 5].

Результаты испытаний РВД различного типа (таблица) свидетельствуют о том, что уменьшение коэффициента податливости рукавов в результате потери упругих свойств материала приводит к уменьшению логарифмического декремента колебаний при появлении и развитии неисправностей [2–4].

Кроме того, увеличение длины и уменьшение диаметра РВД также приводит к снижению значения диагностического признака — логарифмического декремента колебаний. Это явление связано с тем, что при увеличении длины РВД возрастает их податливость, которая, в свою очередь, выполняет функцию гасителей колебаний. Снижение коэффициента податливости РВД в результате потерь упругих свойств материала приводит к уменьшению логарифмического декремента колебаний при появлении и развитии неисправностей [1, 3, 6].

При увеличении длины и уменьшении диаметра РВД также происходит снижение логарифмического декремента колебаний.

Изоляция поврежденного элемента от источника подачи рабочей жидкости наиболее просто достигается путем отключения привода насоса с помощью коробки отбора мощности. Кроме того, специальным гидроаппаратом можно



**Результаты экспериментальных испытаний рукавов высокого давления**  
**The results of experimental tests of high pressure hoses**

| Размеры рукавов          | Наработка на РВД, моточасов | Логарифмический декремент колебаний |                             |
|--------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------|
|                          |                             | Новый РВД                           | РВД с предельной наработкой |
| РВД 10-27,5-М22×1,5-850  | 2180                        | 0,623                               | 0,525                       |
| РВД 12-27,5-М22×1,5-1250 | 2300                        | 0,638                               | 0,539                       |
| РВД 12-27,5-М22×1,5-1450 | 2360                        | 0,641                               | 0,536                       |
| РВД 12-27,5-М22×1,5-1650 | 2450                        | 0,643                               | 0,530                       |

перекрывать подвод к гидроцилиндру с целью предотвращения потерь рабочей жидкости, находящейся в гидроцилиндре в момент повреждения рукава [7, 8].

Анализ известных защитных устройств гидропривода показал, что они не только не устраняют полностью потери рабочей жидкости, но и имеют следующие недостатки:

1) наличие подсоса воздуха при срабатывании данных устройств, что приводит к ухудшению условий смазки и повышенному износу деталей агрегатов гидросистемы;

2) сравнительно длительная настройка на рабочий режим [7, 9].

В связи с этим известные схемы защиты не очень надежны в процессе эксплуатации и требуют дальнейшего совершенствования. На рис. 5 представлены свободная от перечисленных недостатков конструкция и принцип действия специального предохранителя для предотвращения утечек масла из гидросистемы при обрыве шлангов.

Предохранитель состоит из корпуса 6 с входным и соединительным патрубками 7 и 16. В корпусе размещен клапанный элемент 13 с поршнем 8, пружина 12 которого взаимодействует с буртиком 5. В передней части клапанного устройства выполнено дроссельное отверстие 14, а в поршне — окно 11 с перемычкой, контактирующей с запорным элементом 9 (шариком). Предохранитель снабжен фиксатором 1 с кольцевым буртиком 4, уравнивающими канал 15, и пружиной 2, упирающейся в регулировочный винт 3. При разгерметизации гидросистемы за патрубком 16 поршень перемещается вперед, освобождая запорный элемент и перекрывая проход жидкости. Фиксатор при этом отжимается, обеспечивая перемещение клапана.

Его пружина 2 реагирует только на перепад давления в зоне дроссельного отверстия. Теоретический анализ взаимосвязи гидродинамиче-

ских характеристик потока рабочей жидкости с параметрами предохранителя позволяет обосновать основные конструктивные размеры деталей [10–18].

Условие равновесия сил, действующих на шарик

$$(p_1 - p_2) f_1 + F_{\text{пк}} + (p_2 - p_3) S + (p_2 - p_3) f = N + F_{\Phi},$$

где  $f_1$  — площадь клапана;

$F_{\text{пк}}$  — усилие сжатия пружины клапана;

$p_1$  — рабочее давление жидкости на входе в предохранитель;

$p_2$  — давление в проточной части предохранителя;

$p_3$  — давление в гидросети за предохранителем;

$$S = \frac{\pi(D^2 - d_2^2)}{4}$$

( $D$  — диаметр поршня;  $d_2$  — диаметр канала в клапане);

$$f = \frac{\pi(d_2^2 - d_1^2)}{4}$$

( $d_1$  — диаметр дроссельного отверстия);

$N$  — усилие предварительного сжатия пружины поршня;

$F_{\Phi}$  — усилие, передаваемое фиксатором на коническую часть подвижного элемента предохранителя в осевом направлении.

Введя обозначения  $\Delta p_1 = p_1 - p_2$  и  $\Delta p_2 = p_2 - p_3$ , запишем

$$\Delta p_1 f_1 + \Delta p_2 (S + f) + F_{\text{пк}} = N + F_{\Phi}.$$

Условия свободного протекания рабочей жидкости через предохранитель при исправной гидросети и его срабатывания при снижении давления из-за разгерметизации, соответственно, имеют вид

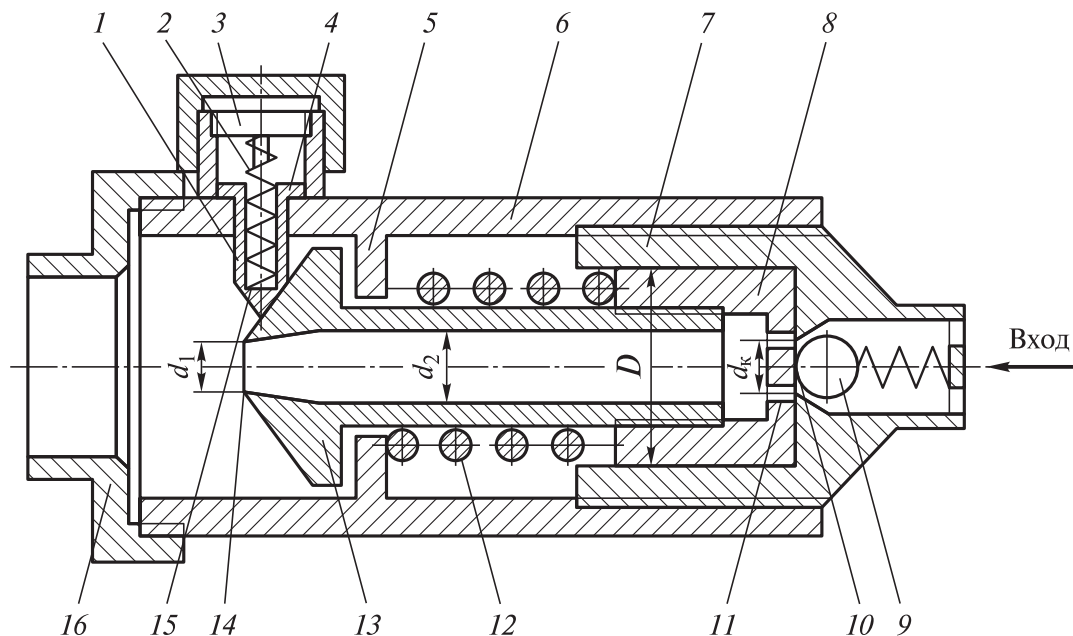
$$\Delta p_1 f_1 + \Delta p_2 (S + f) < N + F_{\Phi} - F_{\text{пк}};$$

$$\Delta p_1 f_1 + \Delta p_2 (S + f) > N + F_{\Phi} - F_{\text{пк}}.$$

Теоретически установлено, что в гидросети тракторов тягового класса 1,4 и 3,0 условие срабатывания предохранителя  $N + F_{\Phi} - F_{\text{пк}} > 48$  Н.

Приняв, что  $N + F_{\Phi} - F_{\text{пк}} = 60$  Н получим падение давления, равное  $7,3 \cdot 10^{-4}$  Па в зоне чувствительного элемента, которое обеспечивает срабатывание клапана.

В целях обеспечения устойчивой работы предохранителя при возможных колебаниях давления в гидросети целесообразно принимать значения  $N + F_{\Phi} - F_{\text{пк}}$  в два-три раза больше расчетного. Потери рабочей жидкости в процессе стендовых испытаний при обрыве шлангов не превысили 200 г.



**Рис. 5.** Схема предохранителя: 1 — фиксатор; 2 — пружина; 3 — регулировочный винт; 4, 5 — буртики; 6 — корпус; 7 — входной патрубок; 8 — поршень; 9 — запорный элемент (шарик); 10 — перемычка; 11 — окно поршня; 12 — пружина; 13 — клапан; 14 — дроссельное отверстие; 15 — уравнивающий канал; 16 — соединительный патрубок;  $d_k$  — диаметр отверстия клапана, закрываемого шариком

**Fig. 5.** Fuse circuit: 1 — retainer; 2 — spring; 3 — adjusting screw; 4, 5 — shoulder; 6 — case; 7 — inlet; 8 — the piston; 9 — locking element (ball); 10 — jumper; 11 — piston window; 12 — spring; 13 — valve; 14 — throttle hole; 15 — balancing channel; 16 — connecting pipe;  $d_k$  — diameter of the valve opening, closed with a ball

## Выводы

1. Анализ отказов гидроприводов манипуляторов транспортно-технологических средств свидетельствуют о том, что основной их причиной является выход из строя рукавов высокого давления.

2. Снижение коэффициента податливости РВД в результате потерь упругих свойств материала приводит к уменьшению логарифмического декремента колебаний при появлении и развитии неисправностей. При увеличении длины и уменьшении диаметра РВД также происходит уменьшение логарифмического декремента колебаний.

3. Разработанный способ диагностирования рукавов высокого давления позволяет определять техническое состояние и остаточный ресурс РВД в процессе проведения технического обслуживания или ремонта машин.

4. Предложенная конструкция предохранительного устройства обеспечивает своевременное перекрытие системы гидропривода при разрыве РВД, что подтверждается соответствием результатов теоретических расчетов и экспериментальных данных.

## Список литературы

- [1] Тюкавин В.П., Попов Ф.П. Повышение надежности лесозаготовительной техники. М.: Лесная пром-сть, 1978. 168 с.
- [2] Павлов А.И., Полянин И.А., Лощенов П.Ю. Теоретические исследования динамических свойств элементов гидропривода лесных машин при диагностировании в функциональном режиме // Вестник МарГТУ, 2012. № 1. С. 44–54.
- [3] Павлов А.И. Надежность гидроприводов лесосечных машин. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2004. 212 с.
- [4] Лозовецкий В.В., Бирюков А.В. Влияние нагрузки и настройки предохранительного клапана на нагрузочные характеристики гидропривода // Научные труды МГУЛ. Лесопользование и воспроизводство лесных ресурсов, 2001. Вып. 31. С. 44–51.
- [5] Kisliakov D. Investigation of the dynamic interaction between a high-pressure pipeline and the moving liquid inside under seismic loading // Earthq. Eng. Struct. Dyn., 1990, v. 19, no. 8, pp. 1143–1152.
- [6] Павлов А.И. Математическая модель гидропривода лесосечных машин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2004. № 5. С. 22–26.
- [7] Рогожкин В.М., Ушаков Н.А. Защита гидросистем машин от аварийного выброса рабочей жидкости при разгерметизации напорной магистрали // Механизация строительства, 2011. № 2. С. 18–19.

- [8] Лощенов П.Ю. Диагностирование гидропривода в функциональном режиме // Тракторы и сельхозмашины, 2013. № 5. С. 46–47.
- [9] Namachchivaya N.S. Non-linear dynamics of supported pipe conveying pulsating fluid. I. Subharmonic resonance. II. Combination resonance. *Int. J. Non-Linear Mech.*, 1989, v. 24, no. 3, pp. 185–196, 197–208.
- [10] Лебедев Н.И. Объемный гидропривод машин лесной промышленности. М.: Лесная пром-сть, 1986. 296 с.
- [11] Лозовецкий В.В. Гидро- и пневмосистемы транспортно-технологических машин. СПб.: Лань, 2012. 555 с.
- [12] Weaver D.S., Unny T.E. On the dynamic stability of fluid conveying pipes. *Trans ASME: J. Appl. Mech. Ser. E.*, 1973, v. 40, no. 1, pp. 48–52.
- [13] Остриков В.В., Матыцин Г.Д. Предотвращение аварийных утечек масла из гидросистемы // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1999. № 1. С. 26, 27.
- [14] Лозовецкий В.В., Комаров Е.Г., Кольниченко Г.И., Мурашев В.П. Расчет и проектирование электрогидравлических систем и оборудования транспортно-технологических машин. СПб.: Лань, 2017. 418 с.
- [15] Лозовецкий В.В., Константинов В.Ф., Пелевин Ф.В., Кохреидзе М.В. Предотвращение потерь рабочей жидкости при аварийном разрыве рукавов высокого давления гидроприводов манипуляторов транспортно-технологических машин // Транспорт: наука, техника, управление, 2017. № 7. С. 54–60.
- [16] Потапов А.И. Контроль качества и прогнозирование надежности конструкций из композиционных материалов. М.: Машиностроение, 1980. 261 с.
- [17] Павлов А.И., Ширнин Ю.А. Результаты исследования динамических свойств гидропривода сучкорезной машины в производственных условиях // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2004. № 6. С. 63–66.
- [18] Орлов С.Ф., Гольдберг А.М. Сравнение параметров тяговой динамики лесотранспортных машин // Лесная промышленность, 1959. № 4. С. 12–17.

## Сведения об авторах

**Лозовецкий Вячеслав Владимирович** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), lozovetsky@mail.ru

**Константинов Валерий Федорович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), v\_f\_konst@mail.ru

**Черкина Вера Михайловна** — канд. техн. наук, доцент Московского государственного строительного университета, khina@mail.ru

Поступила в редакцию 09.07.2018.

Принята к публикации 22.10.2018.

## ENVIRONMENTAL PROTECTION AGAINST LIQUID LEAKAGE IN THE RUPTURE OF HIGH PRESSURE HOSES OF HYDRAULIC VEHICLE MANIPULATORS

V.V. Lozovetskiy<sup>1</sup>, V.F. Konstantinov<sup>1</sup>, V.M. Cherkina<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

lozovetsky@mail.ru

The analysis of failures of hydraulic drives of manipulators of vehicles, which showed that their main cause is the failure of high-pressure hoses (HPH). The main parameter of their technical condition — the compliance, which is associated with the logarithmic decrement of pressure oscillations is revealed. The nature of changes in this parameter in the operation of HPH to reach the limit state. The design of the protective device, preventing the loss of working fluid, located in the hydraulic cylinder at the time of damage to the HPH, is proposed. The value of pressure drop in the sensitive element zone, which provides operation of the valve, preventing leakage, is determined.

**Keywords:** hydraulic, high-pressure hose, fluid, compliance, logarithmic decrement of oscillations in the pressure manipulator

**Suggested citation:** Lozovetskiy V.V., Konstantinov V.F., Cherkina V.M. *Zashchita okruzhayushchey sredy ot utechek rabochey zhidkosti pri razryve rukavov vysokogo davleniya gidroprivoda manipulyatorov transportnykh sredstv* [Environmental protection against liquid leakage in the rupture of high pressure hoses of hydraulic vehicle manipulators]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 62–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-62-68

## References

- [1] Tyukavin V.P., Popov F.P. *Povyshenie nadezhnosti lesozagotovitel'noy tekhniki* [Increasing the reliability of forest machinery]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1978, 168 p.
- [2] Pavlov A.I., Polyaniin I.A., Loshchenov P.Yu. *Teoreticheskie issledovaniya dinameskikh svoystv elementov gidroprivoda lesnykh mashin pri diagnostirovanii v funktsional'nom rezhime* [Theoretical studies of the dynamic properties of the elements of the hydraulic drive of forest machines during diagnostics in the functional mode]. *Vestnik MarGTU*, 2012, no. 1, pp. 44–54.

- [3] Pavlov A.I. *Nadezhnost' gidroprivodov lesosechnykh mashin* [Reliability of hydraulic drives of logging machines]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2004, 212 p.
- [4] Lozovetskiy V.V., Biryukov A.V. *Vliyanie nagruzki i nastroyki predokhranitel'nogo klapana na nagruzochnye kharakteristiki gidroprivoda* [Influence of the load and setting of the safety valve on the load characteristics of the hydraulic drive]. Nauchnye trudy MGUL. Lesopol'zovanie i vosproizvodstvo lesnykh resursov [Scientific Works of MGUH. Forest use and reproduction of forest resources], 2001, iss. 31, pp. 44–51.
- [5] Kisliakov D. Investigation of the dynamic interaction between a high-pressure pipeline and the moving liquid inside a seismic loading. *Earthq. Eng. Struct. Dyn.*, 1990, v. 19, no. 8, pp. 1143–1152.
- [6] Pavlov A.I. *Matematicheskaya model' gidroprivoda lesosechnykh mashin* [Mathematical model of hydraulic drive for logging machines]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal [News of Higher Educational Institutions. Forest Journal], 2004, no. 5, pp. 22–26.
- [7] Rogozhkin V.M., Ushakov N.A. *Zashchita gidrosistem mashin ot avariynogo vybrosa rabochey zhidkosti pri razgermetizatsii napornoj magistrali* [Protection of hydraulic systems of machines from emergency ejection of working fluid during depressurization of the pressure main]. *Mechanization of construction*, 2011, no. 2, pp. 18–19.
- [8] Loshchenov P.Yu. *Diagnostirovanie gidroprivoda v funktsional'nom rezhime* [Diagnosis of the hydraulic drive in the functional mode]. *Traktory i sel'khoz mashiny* [Tractors and agricultural machines], 2013, no. 5, pp. 46–47.
- [9] Namachchivaya N.S. Non-linear dynamics of supported pipe conveying pulsating fluid. I. Subharmonic resonance. II. Combination resonance. *Int. J. Non-Linear Mech.*, 1989, v. 24, no. 3, pp. 185–196, 197–208.
- [10] Lebedev N.I. *Ob'emy gidroprivod mashin lesnoy promyshlennosti* [Volumetric hydraulic drive of forestry machinery]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1986, 296 p.
- [11] Lozovetskiy V.V. *Gidro- i pnevmosistemy transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Hydro- and pneumatic systems of transport-technological machines]. Saint Petersburg: Lan', 2012, 555 p.
- [12] Weaver D.S., Unny T.E. On the dynamic stability of fluid conveying pipes. *Trans ASME: J. Appl. Mech. Ser. E.*, 1973, v. 40, no. 1, pp. 48–52.
- [13] Ostrikov V.V., Matytsin G.D. *Predotvrashchenie avariynykh utechek masla iz gidrosistemy* [Prevention of emergency oil leaks from the hydraulic system]. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva* [Mechanization and electrification of agriculture], 1999, no. 1, pp. 26, 27.
- [14] Lozovetskiy V.V., Komarov E.G., Kol'nichenko G.I., Murashev V.P. *Raschet i proektirovanie elektrogidravlicheskikh sistem i oborudovaniya transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Calculation and design of electrohydraulic systems and equipment of transport-technological machines]. Saint Petersburg: Lan', 2017, 418 p.
- [15] Lozovetskiy V.V., Konstantinov V.F., Pelevin F.V., Kokhreizde M.V. *Predotvrashchenie poter' rabochey zhidkosti pri avariynom razryve rukavov vysokogo davleniya gidroprivodov manipulyatorov transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Prevention of loss of working fluid during emergency rupture of high-pressure hoses of hydraulic drives of manipulators of transport-technological machines]. *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2017, no. 7, pp. 54–60.
- [16] Potapov A.I. *Kontrol' kachestva i prognozirovanie nadezhnosti konstruksiy iz kompozitsionnykh materialov* [Quality control and prediction of reliability of structures from composite materials]. Moscow: Mashinostroenie [Mechanical Engineering], 1980, 261 p.
- [17] Pavlov A.I., Shirnin Yu.A. *Rezultaty issledovaniya dinamicheskikh svoystv gidroprivoda suchkoreznoy mashiny v proizvodstvennykh usloviyakh* [Results of research of dynamic properties of a hydrodrive of the delimiting machine in production conditions]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Lesnoy zhurnal* [News of Higher Educational Institutions. Forest Journal], 2004, no. 6, pp. 63–66.
- [18] Orlov S.F., Gol'dberg A.M. *Sravnenie parametrov tyagovoy dinamiki lesotransportnykh mashin* [Comparison of the parameters of the traction dynamics of forest transport vehicles]. *Lesnaya promyshlennost'*, 1959, no. 4, pp. 12–17.

## Authors' information

**Lozovetskiy Vyacheslav Vladimirovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), lozovetsky@mail.ru

**Konstantinov Valeriy Fedorovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), v\_f\_konst@mail.ru

**Cherkina Vera Mikhailovna** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the Moscow State University of Civil Engineering, khina@mail.ru

Received 09.07.2018.

Accepted for publication 22.10.2018.



## РАБОЧАЯ ГИПОТЕЗА РИТМИЧНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ И ЕЕ ЭКОНОМИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЕ РАЗВИТИЕ

Д.В. Бурмистров<sup>1</sup>, А.В. Скрыпников<sup>1</sup>, В.Г. Козлов<sup>2</sup>, Р.В. Могутнов<sup>1</sup>, М.А. Абасов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», 394036, Россия, г. Воронеж, пр-т Революции, д. 19

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», 394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, д. 1

burmistrdv@mail.ru

Показано, что имеющиеся резервы повышения эффективности, дорожно-строительного производства могут быть приведены в действие путем совершенствования существующих и разработки новых методов организации и планирования ритмичного дорожного строительства. Разработка новых, эффективных методов организации и планирования работ не только способствует достижению высоких производственных показателей, но и играет решающую роль в деле повышения темпов строительства, улучшения его качества и является неотъемлемой частью внедрения новой системы планирования и экономического стимулирования. Существующие в настоящее время показатели ритмичности не в полной мере соответствуют требованиям критерия оптимальности принятия организационно-плановых решений. Авторы предлагают различать годовую и производственную ритмичность, которые являются критериями оценки деятельности соответственно в течение всего года и во время выполнения работ по сооружению отдельных объектов за определенный период. В качестве основных теоретических предпосылок, обуславливающих моделирование системы «дорожное строительство», приняты принципы формализации сложных вероятностных систем, оптимизация параметров которых возможна с применением системного анализа, теории вероятностей, исследования операций и их статистического анализа. На основе разработанной общей динамической модели строительства лесовозных автомобильных дорог возможно построение экономико-математических и организационно-технологических моделей, позволяющих установить оптимальное соответствие различных элементов системы и исследовать методы организации и планирования дорожно-строительного производства.

**Ключевые слова:** дорога, строительство, методы организации, планирование, ритмичность

**Ссылка для цитирования:** Бурмистров Д.В., Скрыпников А.В., Козлов В.Г., Могутнов Р.В., Абасов М.А. Рабочая гипотеза ритмичного строительства лесовозных автомобильных дорог и ее экономико-математическое развитие // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 69–76. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-69-76

Имеющиеся в дорожно-строительном производстве резервы повышения его эффективности могут быть приведены в действие путем совершенствования существующих и разработки новых эффективных методов организации и планирования ритмичного дорожного строительства.

Некоторые специалисты считают, что успешное выполнение годового плана зависит от «принятия таких организационно-технических мер, которые бы способствовали более ритмичному выполнению плана строительно-монтажных работ» [1, 2]. В ряде работ отмечается, что переход к новой системе ритмичной работы требует в корне изменить подход к планированию объемов работ, выработать принципиально новые формы и методы организации работ. Поэтому разработка новых, эффективных методов организации и планирования работ не только позволяет достичь высоких производственных показателей, но и играет решающую роль в деле повышения темпов строительства, улучшения его качества и является неотъемлемой частью внедрения новой системы планирования и экономического стимулирования [1–4].

### Цель работы

Цель работы — на основе разработанной общей динамической модели строительства лесовозных автомобильных дорог построить экономико-математические и организационно-технологические модели, позволяющие установить оптимальное соответствие различных элементов системы и исследовать методы организации и планирования дорожно-строительного производства.

### Материалы и методы

Существующая в дорожном строительстве аритмия является следствием воздействия на него различных случайных факторов, влияние которых на производство носит вероятностный характер. В зависимости от масштаба и интенсивности влияния этих факторов на дорожно-строительное производство их можно подразделить на две группы — факторы внешние и внутренние.

К внешним отрицательным факторам следует отнести такие, которые вызывают аритмию

дорожно-строительного производства вообще и в большей мере зависят от координации работы данной дорожно-строительной организации с работой вышестоящих организаций. Они являются следствием неслаженности функционирования составляющих дорожно-строительное производство элементов, т. е. несоответствия структуры и функций управления производственным нуждам, недостаточно точной координации и отсутствия тесной связи между производственными подразделениями. Сюда же относятся неслаженность и недостатки в организации строительства, проявляющиеся в нарушении оптимальных пропорций между имеющимися ресурсами, объемами работ и временем их выполнения [5–7].

Внутренними отрицательными факторами являются организационные, технические, технологические, производственные и др., которые влияют на ход протекания работ в пределах фронта их выполнения (рабочего места, рабочей зоны). К наиболее характерным из них относятся: нерациональные методы производства; недостатки в комплектовании рабочих бригад и звеньев; недостатки в организации труда и производства; нарушение ритма материально-технического снабжения; поломки дорожно-строительных машин и механизмов; нарушения трудовой и производственной дисциплины и т. д.

Вероятностное проявление влияния различных групп факторов на ход строительства лесовозных автомобильных дорог необходимо учитывать одним обобщающим показателем, который являлся бы наиболее эффективным критерием оптимальности принятия организационно-плановых решений.

Критерий оптимальности принятия решений по организации и планированию строительства лесовозных автомобильных дорог должен:

- однозначно определять влияние случайных факторов на ход производства;
- отражать изменение всех параметров и показателей производства при изменяющихся условиях;
- комплексно отражать принятие решений как по организации, так и по планированию одних и тех же работ;
- использоваться как на стадии проектирования производства, так и для анализа и оперативного управления ходом строительства.

Наиболее распространенными критериями принятия решений по организации и планированию в строительстве являются: уровень организации труда и производства, надежность, ритмичность. Все критерии в какой-то мере отражают влияние случайных факторов на ход развития производства и с успехом применяются на стадии его анализа, однако они не лишены определенных недостатков [8–11].

Основным недостатком критерия уровня организации труда и производства является то, что он представляет собой интегральный показатель различных сфер деятельности. Вследствие этого он неоднозначно определяет влияние случайных факторов на ход производства, не всегда удобен для проектирования организационно-плановых решений и оперативного управления ходом строительства.

## Результаты и обсуждение

Оценка решений по критерию ритмичности в большей степени отвечает всем вышеперечисленным требованиям критерия оптимальности. Поэтому исследование и моделирование оптимальных методов организации и планирования строительства лесовозных автомобильных дорог должны базироваться на применении ритмичности в качестве критерия оптимальности на всех стадиях и для всех показателей деятельности [12–14].

Существующие в настоящее время показатели ритмичности не в полной мере соответствуют перечисленным требованиям критерия оптимальности принятия организационно-плановых решений. Исходя из приведенной выше классификации случайных факторов, мы предлагаем различать годовую ритмичность  $P_r$  и производственную ритмичность  $P_{п}$ , которые являются критериями оценки деятельности соответственно в течение всего года и во время выполнения работ по сооружению отдельных объектов за определенный период.

Понятие «ритмичность» нельзя отождествлять с понятием «равномерность». Равномерность — это частный случай ритмичности, когда в фактическом выполнении работ соблюдается постоянство объемов выпуска продукции при равномерном потреблении трудовых и материально-технических ресурсов за этот же период. Под *годовой ритмичностью* следует понимать точное соблюдение предусмотренных календарным планом пропорций выполнения дорожно-строительных работ, основанных на четкой координации всех участников дорожно-строительного производства. Под *производственной ритмичностью* следует понимать соблюдение объемных и ресурсных пропорций производства отдельных видов работ в их совокупности и непрерывной последовательности при оптимальном взаимодействии звеньев и бригад, выполняющих строительные процессы.

Годовая ритмичность дорожного строительства как обобщающий критерий группы факторов, влияющих на ход строительства в течение всего периода сооружения объекта, определяется как степень соответствия фактических объемов работ запланированным (возможным).

Определение экстремальных величин годовой ритмичности по годам анализа производственно-хозяйственной деятельности основывается на построении экономико-математической модели годового планирования объемов работ. Установление зависимостей между годовой ритмичностью и экономическими показателями деятельности организации с течением времени (в годах) позволяет проводить перспективное планирование рациональных квартальных объемов работ на тот или иной год строительства, выявлять наиболее напряженные периоды [15, 16].

Применение производственной ритмичности в качестве критерия оптимальности принятия организационно-плановых и технологических решений, обеспечивающих ритмичное выполнение запланированных квартальных и годовых объемов работ, базируется на разработке единой универсальной организационно-технологической модели. Расчет пространственных и временных параметров организационно-технологических моделей по критериям производственной ритмичности предполагает вероятностный характер развития производства и основан на принципах статического моделирования отдельных процессов.

Таким образом, можно выделить следующие основные положения рабочей гипотезы исследования и моделирования оптимальных методов организации и планирования строительства лесовозных автомобильных дорог:

1) динамика дорожного строительства определяется влиянием на его ход ряда случайных факторов;

2) в качестве критерия оптимальности, отражающего динамику производства и определяющего эффективность принятия организационно-плановых решений, выступает ритмичность;

3) разработку оптимальных методов организации и планирования наиболее целесообразно осуществлять на основе единых экономико-математических и организационно-технологических моделей строительства лесовозных автомобильных дорог.

Решение задач, связанных с проектированием рациональной организации и планированием строительства лесовозных автомобильных дорог по критериям годовой и производственной ритмичности, в первую очередь направлено на совершенствование и повышение эффективности производства в целом, особенно в пределах фронта дорожно-строительных работ. Как известно, фронт работ комплексного потока представляет собой совокупность дорожно-строительных процессов, осуществляемых в непрерывной технологической последовательности [17, 18].

Рациональное и эффективное выполнение требуемой совокупности дорожно-строительных процессов, их оптимальное протекание обус-

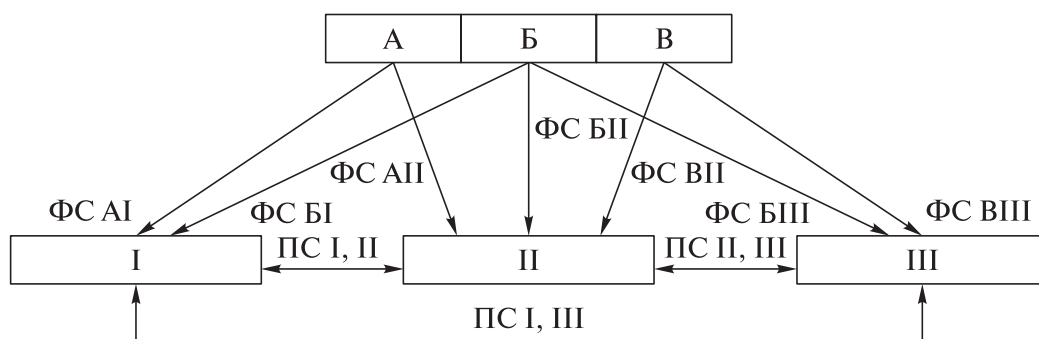
ловливается влиянием разных факторов, изменяющимися условиями производства работ, наличием различных комбинаций организационных и плановых решений и др. Все это, вместе взятое, приводит к тому, что зависимости, характеризующие взаимодействие и увязку дорожно-строительных процессов в динамике их развития, очень сложны и разнообразны и требуют многовариантного решения отдельных производственных задач строительства лесовозных автомобильных дорог.

Несмотря на сложность решения задач эффективного функционирования дорожно-строительных процессов, в их оптимизации и увязке между собой кроются основные резервы снижения себестоимости работ, повышения производительности труда, улучшения использования всех видов ресурсов, что в конечном счете обеспечивает повышение эффективности дорожно-строительного производства. Как отмечает С.А. Ушацкий, «... оптимизация строительных процессов предполагает выбор решений по технологии и организации работ в наибольшей мере способствующих высококоротабельной и эффективной деятельности» [19]. Для оптимального функционирования дорожно-строительных процессов следует создать такие условия производства, при которых весь комплекс работ рассматривается как одна система, с индивидуальной ритмичностью элементов при четком взаимодействии между ними [20–22]. Под элементами системы «дорожное строительство» следует понимать совокупность отдельных технологических процессов.

Содержание системы «дорожное строительство» и отдельные ее понятия с точки зрения системного анализа производства могут быть представлены в вид схемы (рис. 1).

Выполнение общего комплекса работ по сооружению объекта дорожного строительства предполагает организацию некоторой совокупности технологических процессов  $\Pi = \{n\}$  с установлением между ними определенного соответствия, которое проявляется в производственных связях (ПС). Производственные связи характеризуют возможные варианты взаимодействия процессов (перемещение ресурсов по процессам, наличие и создание фронта работ для последующих процессов, взаимодействие процессов вследствие различия в темпах их развития и т. д.). Кроме того, производственные связи зависят от величины и постоянства объемов  $V$  работ на смежных участках ( $V = \{v\}$ ) и от воздействия на каждый из процессов определенного комплекса случайных факторов разного порядка; данное воздействие называют факторными связями (ФС).

Вероятностная совокупность организационных, технологических, социальных, климатических и других факторов во многом определяется



**Рис. 1.** Факторы и связи, определяющие функционирование дорожно-строительных процессов:

ПС — производственные связи; ФС — факторные связи

**Fig. 1.** Factors and relationships that determine the functioning of road-building processes: PT — production ties; FR — Factor Relations

структурой ресурсных эквивалентов  $S = \{s\}$ , необходимых для реализации процессов. В зависимости от вида и соотношения применяемых производственных ресурсов все дорожно-строительные процессы подразделяются на следующие три группы:

I — процессы, тяготеющие к ручному, немеханизированному способу выполнения;

II — процессы, тяготеющие к смешанному способу выполнения;

III — процессы, тяготеющие к механизированному способу выполнения (см. рис. 1).

Таким образом, структура факторных связей определяется разнородностью процесса и влиянием определенной совокупности случайных факторов, которые в зависимости от классификации процессов по способу производства можно условно разбить на три вида — А, Б и В (см. рис. 1). Каждый из видов факторов определяет развитие одной из трех групп процессов (факторы А и В) или всех процессов (факторы Б).

Наличие факторных связей в каждый из моментов времени определяет состояние развития процессов, т. е. темп, методы и качество выполнения отдельных работ. Вероятность существования некоторого комплекса случайных факторов, составляющих факторные связи, и их влияние на ход развития процессов характеризуется производственной ритмичностью  $P_n$ .

Выполнение отдельных дорожно-строительных процессов II ведется с определенной производственной ритмичностью  $P_n$ , т. е. каждый процесс характеризуется особыми, присущими только ему мерой интенсивности потребления ресурсов и темпами выполнения работ. Вследствие этого по мере развития строительного потока возможно отставание или накладка фронтов работ частных потоков. Этот факт ни в коем случае не желателен, так как в первом случае большие резервы фронта работ приводят к тому, что теряется оперативность, а иногда и возможность переме-

щения ресурсов с одного вида работ на другой, во втором случае возникает простой (в «тормозном узле») последующего потока.

На основании проведенного системного анализа дорожно-строительное производство как сложную организационную систему с вероятностными связями можно представить общей динамической моделью (рис. 2) оптимизация параметров которой предполагает выбор наиболее эффективных организационно-плановых решений.

Наличие производственных и факторных связей между отдельными дорожно-строительными процессами определяется вероятностью  $B = \{b\}$ , которая характеризуется производственной ритмичностью выполнения каждого из них  $P_n = \{P_{ni}\}$ . Степень производственной ритмичности выполнения отдельных процессов в конечном счете определяет надежность  $H$  функционирования всей системы  $C$  (см. рис. 2).

Условие, определяющее оптимальное и надежное взаимодействие всех дорожно-строительных процессов, можно описать графами:

$$\begin{aligned} G_1 &= (V, S) \\ G_2 &= (V, S) \end{aligned} \leftrightarrow H. \quad (1)$$

Количество и соотношение элементов ресурсных эквивалентов  $S = \{s\}$  главенствующим образом влияет на формирование производственных и факторных связей, определяя тем самым степень ритмичности развития дорожно-строительных процессов. Каждый из дорожно-строительных процессов для своего выполнения требует затрат определенного количества и вида ресурсов —  $S_f$ , которые в своей совокупности не должны превышать наличного объема ресурсов  $S = \{s\}$

$$\sum_{i=1}^n S_f = \text{const} \leq S. \quad (2)$$



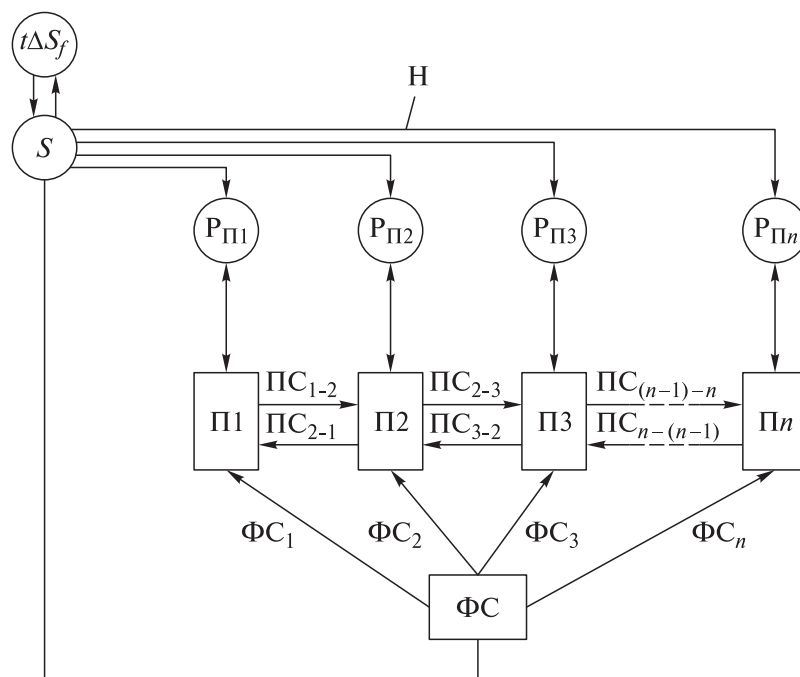


Рис. 2. Структурная схема системы «дорожное строительство»  
 Fig. 2. Structural diagram of the system «road construction»

Иными словами, имеющиеся ресурсы должны быть оптимально распределены по процессам, максимально и равноинтенсивно загружены в течение времени. Выполнение условия (2) неразрывно связано с условием (1) и направлено на достижение единой цели  $\Pi$ , моделирование оптимальных процессов организации и планирования дорожного строительства.

Условие (2) характеризует действие организующей, а условие (1) — функционирующей подсистемы. Выполнение условия (2) предполагает наличие в организующей подсистеме резервного количества ресурсов  $\Delta S_f$  (см. рис. 2), которое характеризует объем дополнительных ( $+\Delta S_f$ ) или высвободившихся в результате рациональной организации ( $-\Delta S_f$ ) производственных ресурсов.

## Выводы

Описанная структура системы «дорожное строительство» является основой для решения ряда важных задач, связанных с разработкой и исследованием оптимальных методов организации и планирования дорожно-строительных работ.

В качестве основных теоретических предпосылок, обуславливающих моделирование системы «дорожное строительство» приняты принципы формализации сложных вероятностных систем, оптимизация параметров которых возможна с применением системного анализа, теории вероятностей, исследования операций и их статистического анализа.

На основе разработанной общей динамической модели строительства лесовозных автомобильных дорог возможно построение экономико-математических и организационно-технологических моделей, позволяющих установить оптимальное соответствие различных элементов системы и исследовать методы организации и планирования дорожно-строительного производства.

## 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. Mathematical modeling of damage function when attacking file server // Journal of Physics: Conference Series, 2018, v. 1015, p. 032069.
- [3] 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.
- [4] 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
- [5] 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.

- [6] 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.
- [7] 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.
- [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] Сковрцова 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] Заець 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.
- [13] Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Борисов В.А. Лесотранспорт как система водитель-автомобиль-дорога-среда. М.: МГУЛ, 2010. 370 с.
- [14] Сковрцова Т.В. Автоматизированный расчет уровня загрязнения поверхностного стока на автомобильной дороге. Воронеж: Воронежская государственная лесотехническая академия, 2003. 26 с.
- [15] Кондрашова Е.В., Сковрцова 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., 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.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] Курьянов В.К., Скрыпников А.В., Сковрцова 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.
- [20] 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.
- [21] Скрыпников А.В. Методы построения эпюр скорости как основы оценки соответствия проекта дороги требованиям движения. Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2001. 17 с.
- [22] 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.

## Сведения об авторах

**Бурмистров Дмитрий Валерьевич** — канд. техн. наук, научный сотрудник ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», burmistrdv@mail.ru

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

**Козлов Вячеслав Геннадиевич** — д-р техн. наук, заместитель декана по научной работе агроинженерного факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I», vya-kozlov@yandex.ru

**Могутнов Роман Викторович** — научный сотрудник ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», r-mogutnov@mail.ru

**Абасов Максим Александрович** — научный сотрудник ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет инженерных технологий», burmistrdv@mail.ru

Поступила в редакцию 14.09.2018.

Принята к публикации 18.10.2018.

## THE WORKING HYPOTHESIS OF LOGGING ROADS RHYTHMIC CONSTRUCTION AND ITS MATHEMATICAL DEVELOPMENT

D.V. Burmistrov<sup>1</sup>, A.V. Skrypnikov<sup>1</sup>, V.G. Kozlov<sup>2</sup>, R.V. Mogutnov<sup>1</sup>, M.A. Abasov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Voronezh State University of Engineering Technologies, Voronezh, 19, Revolution avenu, 394036, Voronezh, Russia

<sup>2</sup>Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, 1, Michurina st., 394087, Voronezh, Russia

burmistrdv@mail.ru

Currently, the existing reserves in the road construction industry to improve its efficiency can be put into action by improving existing and developing new effective methods of organization and planning of rhythmic road construction. In this regard the development of new effective methods of organization and planning of work is aimed not only at achieving high production rates but also plays a crucial role in increasing the pace of construction, improving its quality and is an integral part of the implementation of the new system of planning and economic stimulation. The currently existing indicators of rhythm do not fully comply with the requirements of the criterion of optimality-making, planning and organizing solutions. Based on this, it is proposed to distinguish between the annual rhythm and production, which respectively are the criteria for evaluating activities throughout the year and during the construction of individual facilities for a certain period. Thus, the principles of formalization of complex probabilistic systems, the optimization of parameters of which is possible with the use of system analysis, probability theory, operations research and their statistical analysis, are accepted as the main theoretical prerequisites for modeling the system of «road construction». On the basis of the developed general dynamic model of construction of timber roads, it is possible to build economic, mathematical and organizational and technological models that allow to establish the optimal compliance of the various elements of the system and to study the methods of organization and planning of road construction production.

**Keywords:** road, construction, methods of organization, planning, rhythm

**Suggested citation:** Burmistrov D.V., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Mogutnov R.V., Abasov M.A. *Rabochaya gipoteza ritmichnogo stroitel'stva lesovoznykh avtomobil'nykh dorog i ee ekonomiko-matematicheskoe razvitiye* [The working hypothesis of logging roads rhythmic construction and its mathematical development]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 69–76. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-69-76

### References

- [1] Gulevskiy V.A., Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Mikova E.Yu. *Ehksperimental'naya otsenka stsepnnykh 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. Mathematical modeling of damage function when attacking file server. *Journal of Physics: Conference Series*, 2018, v. 1015, p. 032069.
- [3] Umarov M.M., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V., Mikova E.Yu. *Primenenie tscifrovyykh modeley mestnosti dlya trasirovaniya 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.
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] 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], 2011, no. 1, pp. 51–56.
- [7] 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.
- [8] Kury'anov 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. *Vybor 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 neobkhodimogo 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] Zaets' O.S., Skrypnikov A.V., Chernyshova E.V. *Otsenka effektivnosti 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]. *Mezhdisciplinarnyye issledovaniya v oblasti matematicheskogo modelirovaniya i informatiki: Sb. tr. 5 nauch.-prakt. internet-konf. [Interdisciplinary research in the field of mathematical modeling and informatics: 5th scientific-practical. conf.]*. Ul'yanovsk: SIMJET, 2015, pp. 31–38.
- [13] Kuryanov V.K., Skrypnikov A.V., Borisov V.A. *Lesotransport kak sistema voditel'-avtomobil'-doroga-sreda* [Lesotransport as a driver-car-road-environment system. Moscow: MGUL, 2010. 370 p.
- [14] Skvortsova T.V. *Avtomatizirovannyi rashchet urovnya zagryazneniya poverkhnostnogo stoka na avtomobil'noy doroge* [Automated calculation of the level of pollution of surface runoff on an automobile road]. Voronezh: Voronezhskaya gosudarstvennaya lesotekhnicheskaya akademiya, 2003, p. 26.
- [15] Kondrashova E.V., Skvortsova T.V., Skrypnikov A.V., Logachev V.N. *Matematicheskaya model' processov zagryazneniya pochv 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] Kur'yanov V.K., Ryabova O.V., Skrypnikov A.V., Kondrashova E.V., Tararykov A.V. *Modelirovanie vliyaniya proektiruemyykh 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. V.I. Vernadskiy University], 2008, v. 2, no. 3 (13), pp. 180–184.
- [17] Skrypnikov A.V., Kozlov V.G., Lomakin D.V., Logoyda 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.
- [18] Ryabova O.V., Kur'yanov V.K., Skrypnikov A.V. *Obespechenie bezopasnosti na razlichnykh uchastkakh avtomobil'nykh dorog* [Providing security on various sections of highways]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Tekhnicheskie nauki* [News of higher educational institutions. North-Caucasian region. Series: Engineering], 2004, no. S9, pp. 198–202.
- [19] Kur'yanov V.K., Skrypnikov A.V., Skvortsova T.V., Kondrashova E.V. *Avtomatizirovannyi rashchet 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: VGLTU im. G.F. Morozova, 2003, 20 p.
- [20] Mikhaylusov E.A., Kur'yanov 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 khozyaystvo Povolzh'ya: Mezhdvuzovskiy sbornik nauchnykh rabot* [Forestry of the Volga region. Intercollegiate collection of scientific works]. Saratov: SSAU, 2002, pp. 583–586.
- [21] Skrypnikov A.V. *Metody postroeniya epyur skorosti kak osnovy otsenki sootvetstviya projekta dorogi trebovaniyam dvizheniya* [Methods for constructing speed diagrams as a basis for assessing the compliance of a road project with traffic requirements]. Voronezh: VGLTU im. G.F. Morozova, 2001, 17 p.
- [22] Polyakov A.A., Kur'yanov V.K., Skrypnikov A.V. *Otsenka transportno-eksplyuatsionnykh kachestv gornykh lesovoznykh avtomobil'nykh dorog v sisteme avtomatizirovannogo proektirovaniya* [Estimation of transport-operational qualities of mountain forest roads in the computer-aided design system]. Voronezh: VGLTU im. G.F. Morozova., 2001, 149 p.

## Authors' information

**Burmistrov Dmitriy Valer'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Scientific Worker at the Voronezh State University of Engineering Technologies, burmistrdv@mail.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

**Kozlov Vyacheslav Gennadievich** — Dr. Sci. (Tech.), Deputy Dean for Scientific Work of the Agro-engineering Faculty of the Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, vya-kozlov@yandex.ru

**Mogutnov Roman Viktorovich** — Scientific Worker at the Voronezh State University of Engineering Technologies, r-mogutnov@mail.ru

**Abasov Maksim Aleksandrovich** — Scientific Worker at the Voronezh State University of Engineering Technologies, burmistrdv@mail.ru

Received 14.09.2018.

Accepted for publication 18.10.2018.



## ОБОСНОВАНИЕ КОНФИГУРАЦИИ И ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ РАЗМЕРОВ РАБОЧЕЙ ЗОНЫ КОЛЕСНОГО ХАРВЕТЕРА

**А.В. Лаптев, А.В. Матросов**

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

Изложены теоретические и экспериментальные исследования по обоснованию рабочей зоны харвестера. По разработанной методике и компьютерной программе выполнены расчеты влияния технических параметров технологического оборудования и лесотаксационных параметров обрабатываемых деревьев при заготовке сортиментов на рабочую зону харвестера. Приведенная методика определения рабочей зоны манипулятора исходя из устойчивости машины позволяет наиболее эффективно подобрать комплект технологического оборудования харвестера для различных природно-производственных условий лесосек.

**Ключевые слова:** многооперационные лесозаготовительные машины, харвестерная головка, рабочая зона харвестера, вылет манипулятора

**Ссылка для цитирования:** Лаптев А.В., Матросов А.В. Обоснование конфигурации и геометрических размеров рабочей зоны колесного харвестера // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 77–85. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-77-85

В последние годы (с 2010 г.) отмечается существенный рост объемов лесозаготовок в России по сортиментной технологии. В значительной степени это обусловлено широким применением комплекта машин, преимущественно на колесной базе, — харвестера и форвардера. Если учесть, что харвестер выпускается в различных комплектациях, перед лесозаготовителями стоит многоуровневая задача выбора харвестера из модельного ряда предпочтительного производителя с оптимальной комплектацией технологического оборудования для своих природно-производственных условий и видов рубок.

### Цель работы

Цель исследования — обосновать выбор того технологического оборудования харвестера, которое обеспечило бы наиболее оптимальную по геометрическим размерам и конфигурации рабочую зону [1, 2]. Оптимальность рабочей зоны харвестера определяется по диаграмме, где учитываются устойчивость харвестера при повороте манипулятора, изменения вылета и грузоподъемности манипулятора на различных его вылетах.

### Объект исследования

При выборе многооперационных машин для проведения лесозаготовительных работ следует уделять внимание: таксационным параметрам обрабатываемого древостоя; типу базовой машины, ее геометрическим и весовым характеристикам; компоновке технологического оборудования и его технические характеристики; технологии работ в лесонасаждениях; порядку выполнения операций по заготовке и обработке единичного деревьев. Это обеспечит последующий выбор ба-

зового шасси и технологического оборудования с оптимальными параметрами, необходимыми для эффективной работы харвестера [1–4].

Технологии, реализованные при машинной заготовке сортиментов, оцениваются не только с точки зрения их стоимости и эффективности, но и с точки зрения опасности, которую они представляют для лесной среды, включая потенциальный ущерб древостою и почвам, нанесенный лесозаготовительными машинами и транспортными средствами [3, 5, 6]. В случае многофункциональных лесозаготовительных машин такие повреждения связаны также с большой массой машины и харвестерной головки.

### Результаты и обсуждение

В практике отечественного машиностроения для оценки устойчивости машин широко используют коэффициенты устойчивости, величина которых определяется различными соотношениями между восстанавливающими и опрокидывающими моментами [7–12].

В зависимости от направления опрокидывания различают оси бокового и продольного опрокидывания, которые совместно образуют опорный контур машины. Конфигурации опорных контуров машин зависят от типа и конструктивных особенностей ходовых систем. Различают схемы опорных контуров машин с постоянной и переменной структурами опорных контуров. К машинам с постоянной структурой опорных контуров можно условно отнести колесные машины с жесткой рамой и жестким креплением небалансирных мостов и гусеничные машины с индивидуальной подвеской. Постоянные опорные контуры колесных машин образуются осями продольного и

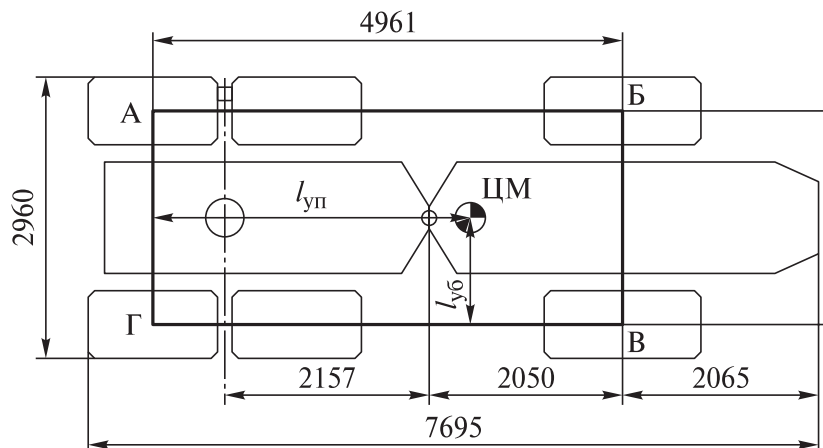


Рис. 1. Опорный контур харвестера John Deere 1470E (6×6)  
 Fig. 1. Supporting contours of harvesters John Deere 1470E (6×6)

поперечного опрокидывания, проходящими через центры отпечатков на грунте колес, а у гусеничных машин — линиями опорных кромок гусениц.

Переменные структуры опорных контуров характерны для колесных машин с шарнирно-сочлененной рамой, колесных машин с жесткой рамой и балансирной подвеской мостов, гусеничных машин с балансирной подвеской опорных катков. Современные колесные харвестеры состоят из двух секций, соединенных между собой центральным универсальным шарниром. Центральный шарнир позволяет осуществлять поворот полурам друг относительно друга в горизонтальной плоскости на угол складывания. Кроме того, универсальный шарнир позволяет осуществлять независимое вращение полурам в вертикальной плоскости.

В шарнирно-сочлененных машинах, к которым относится харвестер, условно различают: балансирную часть — несущую ось горизонтального шарнира и небалансирную часть — несущий корпус этого шарнира. Балансирной частью обычно является грузовая часть, на которой установлено рабочее оборудование, а небалансирной — моторная часть, на которой установлен двигатель машины и кабина оператора. Такое различие важно потому, что каждая из названных частей харвестера имеет свой опорный контур, от конфигурации и размеров которого зависит устойчивость балансирной и небалансирной частей машины. После замыкания балансира обе части такой машины имеют общий опорный контур [4, 13].

Необходимым требованием при работе харвестера является блокировка центрального шарнира, поэтому при выполнении технологических операций передняя и задняя полурамы блокируются друг относительно друга. Перемещение харвестера по волоку при выполнении основных технологических операций можно считать пря-

молинейным. В этом случае полурамы машины располагаются в одну линию и опорный контур принимает вид прямоугольника, стороны которого проходят через центры площадок контакта колес с основанием и являются осями продольного и бокового опрокидывания.

В качестве примера приведем опорный контур шестиколесного харвестера John Deere 1470E (рис. 1). Контур представляет собой прямоугольник АБВГ. Боковые стороны АБ и ВГ соответствуют осям бокового опрокидывания харвестера, а стороны АГ и БВ являются осями продольного опрокидывания. Расстояние  $l_{yp}$  от центра масс (ЦМ) харвестера до продольной оси опрокидывания АГ и расстояние  $l_{yb}$  от ЦМ до оси бокового опрокидывания ВГ (или АБ) являются плечами удерживающего момента, действующего внутри опорного контура.

Предельные возможности харвестера по устойчивости против опрокидывания оцениваются удерживающим моментом горизонтально установленной машины  $M_{уд}$  и опрокидывающим моментом  $M_{опр}$  [7, 14]. Удерживающий момент  $M_{уд}$  относительно боковой продольной оси опорного контура, создаваемый вертикальными силами, действующими внутри опорного контура, определяется с учетом уклона местности по формуле

$$M_{уд} = G_m (l_y \cos \gamma \pm h_m \sin \gamma) + G_k (l_y \cos \gamma \pm h_k \sin \gamma), \quad (1)$$

где  $G_m$  — вес машины, Н;  
 $l_y$  — расстояние от центра масс до оси опрокидывания, м;  
 $\gamma$  — угол наклона местности, град;  
 $h_m, h_k$  — высота центра масс машины и поворотной колонны соответственно, м;  
 $G_k$  — вес поворотной колонны манипулятора, Н.

Опрокидывающий момент  $M_{\text{опр}}$  определяется как сумма опрокидывающих моментов, создаваемых вне опорного контура стрелой манипулятором  $M_c$ , рукоятью манипулятора  $M_p$ , харвестерной головкой  $M_{\text{хг}}$  и обрабатываемым деревом  $M_d$  относительно одной из осей опрокидывания опорного контура:

$$\begin{aligned} M_{\text{опр}} &= M_c + M_p + M_{\text{хг}} + M_d = \\ &= G_c (l_c \cos \gamma \pm h_c \sin \gamma) + \\ &+ G_p (l_p \cos \gamma \pm h_p \sin \gamma) + \\ &+ G_{\text{хг}} (l_{\text{хг}} \cos \gamma \pm h_{\text{хг}} \sin \gamma) + \\ &+ G_d (l_d \cos \gamma \pm h_d \sin \gamma), \end{aligned} \quad (2)$$

где  $G_c$ ,  $G_p$ ,  $G_{\text{хг}}$ ,  $G_d$  — вес стрелы манипулятора, рукояти манипулятора, харвестерной головки и дерева соответственно, Н;

$l_c$ ,  $l_p$ ,  $l_{\text{хг}}$ ,  $l_d$  — расстояние от центра масс стрелы, рукояти, харвестерной головки и дерева до оси опрокидывания, м;

$h_c$ ,  $h_p$ ,  $h_{\text{хг}}$ ,  $h_d$  — высота центра масс стрелы, рукояти, харвестерной головки и дерева, м.

Поскольку продольная устойчивость лесозаготовительной машины манипуляторного типа, как правило, выше поперечной, можно ограничиться расчетом только поперечной устойчивости.

Для оценки устойчивости харвестера применяют коэффициент устойчивости  $k_{\text{уст}}$  — отношение стабилизирующего момента к опрокидывающему моменту. В расчетах опрокидывающего и удерживающего моментов учитываются все статические и динамические нагрузки, что на практике осуществить сложно, коэффициент устойчивости принимают  $k_{\text{уст}} = 1,15$ . Для случая, когда расчеты основываются только на значениях сил тяжести, принимают  $k_{\text{уст}} = 1,4$  [15]. Тогда зависимость между опрокидывающим и удерживающим моментами определяется формулой

$$M_{\text{опр}} \leq \frac{M_{\text{уд}}}{1,4}. \quad (3)$$

Преобразовав формулы (1)–(3), можно определить грузовые моменты  $M_d$  и определить значение максимального веса  $G_d$  дерева, который может поднять манипулятор в координатах рабочей зоны. Расчет грузоподъемности харвестера проводится для различных углов поворота манипулятора и на различных его вылетах относительно продольных и поперечных осей опрокидывания [16].

По результатам расчета в полярной системе координат строится общая диаграмма грузоподъемности в зависимости от устойчивости харвестера. Полярная сетка образуется двумя полярными

координатами: радиальной и угловой. Началом координат является проекция вертикальной оси вращения манипулятора. Радиальная координата соответствует различным вылетам манипулятора и принимает значения от минимального до максимального. Угловая координата может изменяться в пределах от 0 до 360°. На диаграмме угловая координата находится в диапазоне угла поворота манипулятора в горизонтальной плоскости. На полярную сетку после компьютерного расчета наносится линия, ограничивающая зону, внутри которой могут быть обработаны все деревья заданного веса исходя из устойчивости.

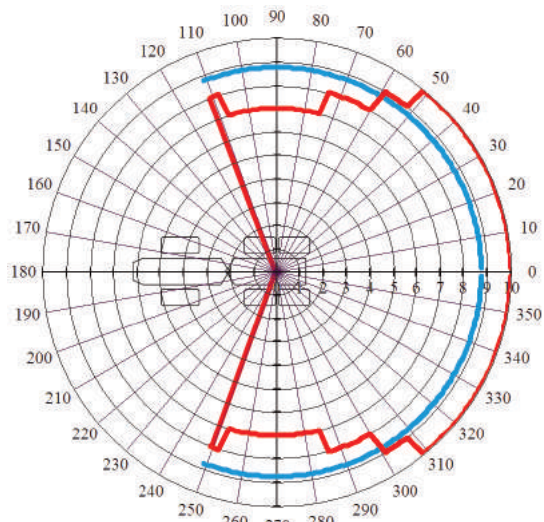


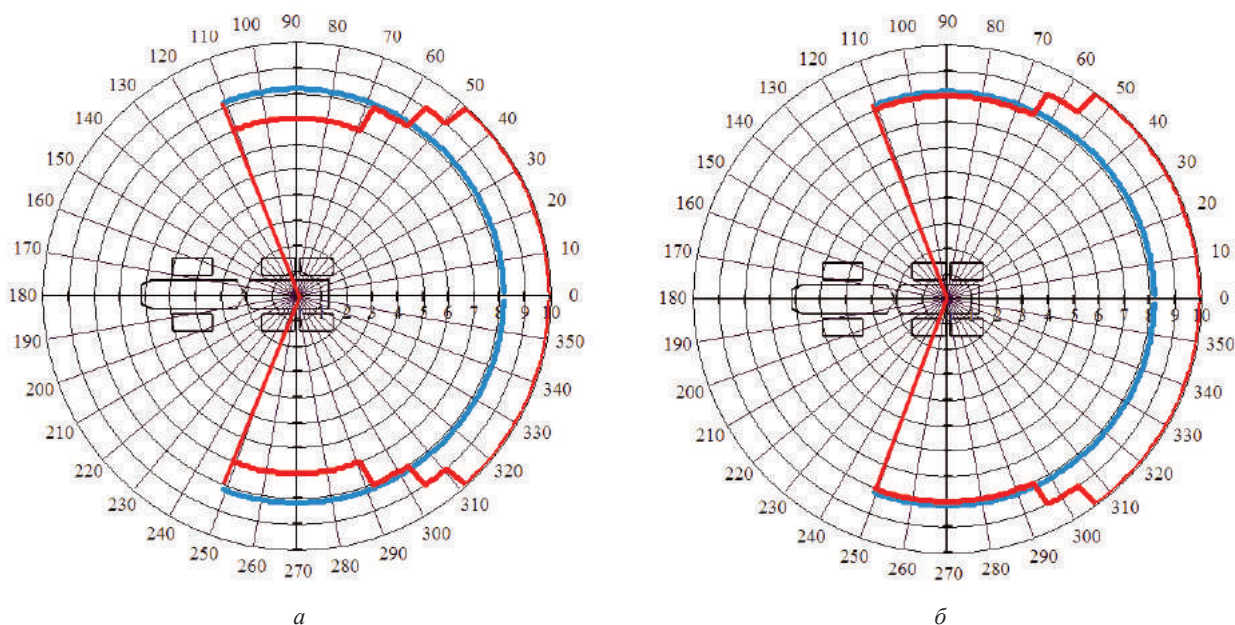
Рис. 2. Диаграмма рабочей зоны многооперационной машины с учетом ее устойчивости и грузоподъемности манипуляторного оборудования

Fig. 2. General view of the working area of a multi-operational machine, taking into account its stability and carrying capacity of manipulator equipment

Возможны случаи, когда харвестер, подняв груз на определенном вылете манипулятора, не опрокидывался, но грузовой момент выводит манипулятор из строя. Поэтому на диаграмму наносится линия, ограничивающая зону, определяемую грузовым моментом манипулятора.

На рис. 2 дан общий вид диаграммы рабочей зоны колесного (6×6) харвестера массой 21 т и оснащенного манипулятором с максимальным вылетом 10 м, грузовым моментом 210 кН·м и харвестерной головкой массой 1280 кг. Расчет проведен для работы в лесонасаждении с весом деревьев до 5000 Н (объем хлыста до 0,5 м³). Внутри сектора, ограниченного синей линией, харвестер обработает все деревья заданного веса исходя из грузоподъемности манипулятора, а в зоне, ограниченной красной линией, — исходя из ограничений накладываемых устойчивостью машины. Пересечение этих контуров является рабочей зоной данного харвестера для лесонасаждений с объемом хлыста до 0,5 м³.





**Рис. 3.** Изменение рабочей зоны харвестера при изменении массы базовой машины: *a* — харвестер с колесной формулой 6×6, массой 20 500 кг; *б* — харвестер с колесной формулой 8×8, массой 22 800 кг  
**Fig. 3.** The working zone of the harvester when you change the weight of the basic machine: *a* — the harvester with the wheel formula 6×6, weight 20 500 kg; *b* — the harvester with the wheel formula 8×8, weight 22 800 kg

Результаты компьютерного моделирования показали, что на размеры и конфигурацию обеих зон оказывают влияние такие параметры, как вылет и грузовой момент манипулятора, вес харвестерной головки, габаритные размеры и вес харвестера, весовые характеристики древостоя [17–20].

В качестве примера приведем результаты компьютерного моделирования рабочих зон харвестера при разных вариантах комплектации его технологическим оборудованием и для различных древостоев (рис. 3). Для сравнения в качестве базовой машины рассмотрим харвестер с колесной формулой 6×6 (масса 20 500 кг, габаритные размеры 7695×2960 мм). Комплект базового технологического оборудования состоит из манипулятора марки СН7 (с общим грузовым моментом 197 кН и углом поворота в горизонтальной плоскости 220°) и харвестерной головки Н480 массой 1240 кг. Расчет проводится для работы в лесонасаждении с максимальным весом деревьев 5000 Н (0,5 м<sup>3</sup>).

Сравним рабочие зоны базового харвестера (рис. 3, *a*) и харвестера с колесной формулой 8×8 (масса 22 800 кг, габаритные размеры 7927×2960 мм), оснащенного аналогичным технологическим оборудованием (рис. 3, *б*). Из диаграмм можно сделать вывод, что в данном древостое более тяжелый харвестер обрабатывает зону с радиусом, равным 80 % максимального вылета манипулятора. У харвестера с колесной формулой 6×6, массой 20 500 кг и таким же технологи-

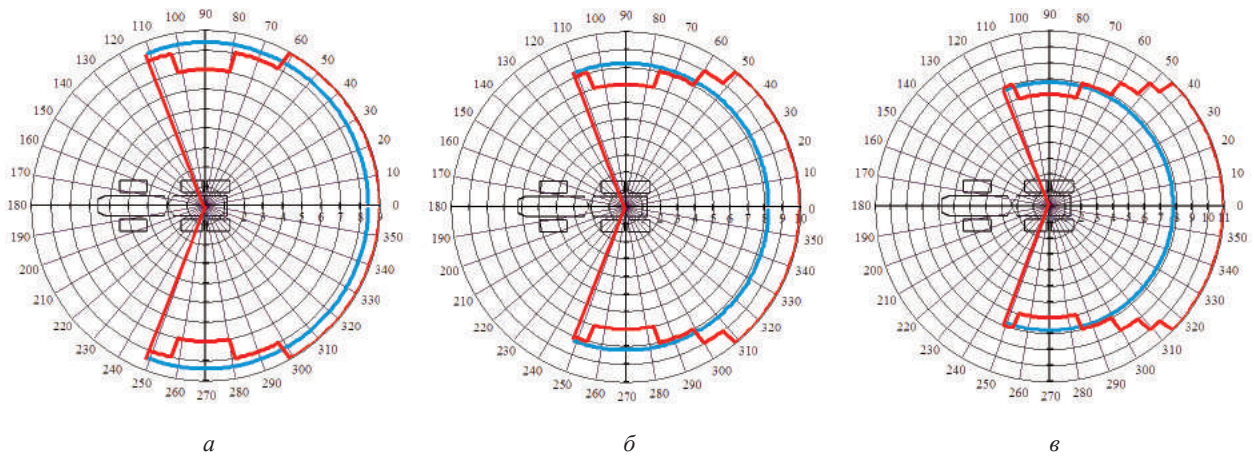
ческим оборудованием процент использования манипулятора снизится до 70 % в секторах слева и справа от харвестера (угол 40...45°).

На рис. 4 приведены рабочие зоны харвестера при использовании модификаций манипулятора СН7 с различными вылетами.

Анализируя данные диаграммы, можно сделать вывод: для древостоя (средний вес дерева 500 кг) манипулятор СН7 с грузовым моментом 197 кН и вылетом 8,6 м обрабатывает всю зону в секторе 220° с радиусом, равным вылету манипулятора. Манипулятор с такими же техническими характеристиками, но вылетом 11,8 м обрабатывает на полный вылет только сектор с угловым размером 90° впереди себя. Для обработки боковых секторов слева и справа в секторе с угловым размером 60...65° этот манипулятор может работать только на вылете 7 м.

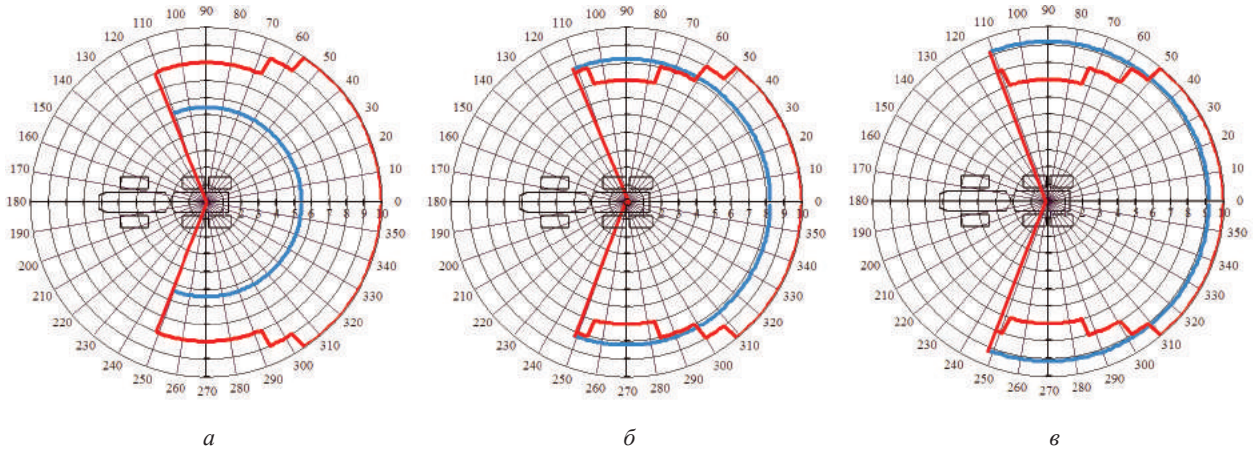
Важной характеристикой манипулятора является общий грузовой момент. На рис. 5 приведены диаграммы рабочих зон харвестера с разными грузовыми моментами манипулятора. Анализ диаграмм показывает, что наибольшая (с точки зрения устойчивости машины) рабочая зона у харвестера с манипулятором, имеющим наименьший грузовой момент (130 кН·м). Это связано с тем, что манипулятор с меньшим моментом и сам по массе меньше и, соответственно, его опрокидывающий момент уменьшается. Однако данный манипулятор вследствие маленького грузового момента не может поднять груз на больших вылетах, что вызывает необходимость введения





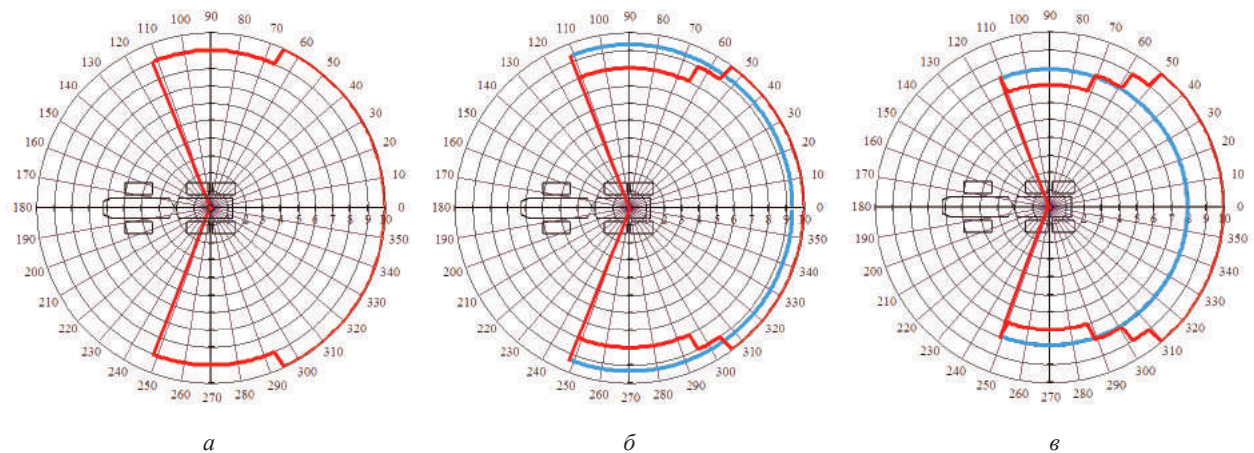
**Рис. 4.** Рабочие зоны харвестера при использовании манипулятора CH7 с максимальным вылетом:  
*a* — 8,6 м; *б* — 10 м; *в* — 11 м

**Fig. 4.** Working zones of the harvester when using a manipulator CH7 with maximum outrigger:  
*a* — 8,6 m; *b* — 10 m; *c* — 11 m



**Рис. 5.** Рабочие зоны харвестера при использовании манипулятора с вылетом 10 м при грузовом моменте, равном: *a* — 130 кН · м; *б* — 197 кН · м; *в* — 220 кН · м

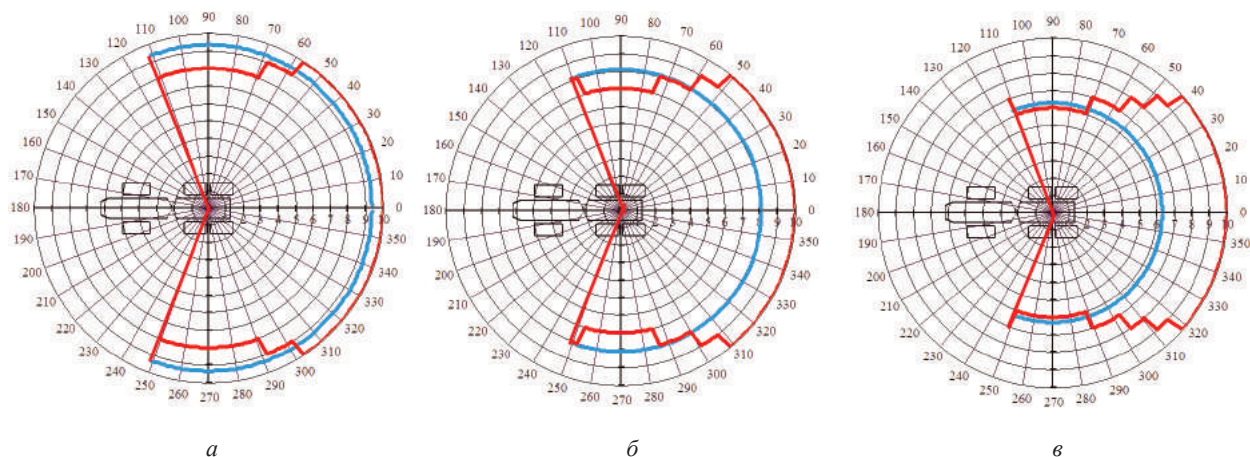
**Fig. 5.** Working areas of the harvester when using a manipulator with an outrigger of 10 m with cargo moments:  
*a* — 130 kNm; *b* — 197 kNm; *c* — 220 kNm



**Рис. 6.** Рабочие зоны харвестера при использовании различных по массе харвестерных головок: *a* — H754 (масса 820 кг); *б* — H414 (масса 1030 кг); *в* — H480C (масса 1280 кг)

**Fig. 6.** The working areas of the harvester while using different mass harvesting heads: *a* — H754 (weight 820 kg); *b* — H414 (weight 1030 kg); *c* — H480C (weight 1280 kg)





**Рис. 7.** Рабочие зоны харвестера при обработке деревьев, различающихся по весу и размеру: *a* — вес дерева 258 кг, объем хлыста 0,25 м<sup>3</sup>; *б* — вес дерева 500 кг, объем хлыста 0,5 м<sup>3</sup>; *в* — вес дерева 1000 кг, объем хлыста 0,97 м<sup>3</sup>

**Fig. 7.** Working areas of the harvester while processing trees of different sizes: *a* — the weight of the tree is 258 kg, the volume of the tree length is 0.25 m<sup>3</sup>; *b* — weight of tree 500 kg, volume of tree length 0.5 m<sup>3</sup>, *c* — weight of tree 1000 kg, volume of tree length 0.97 m<sup>3</sup>

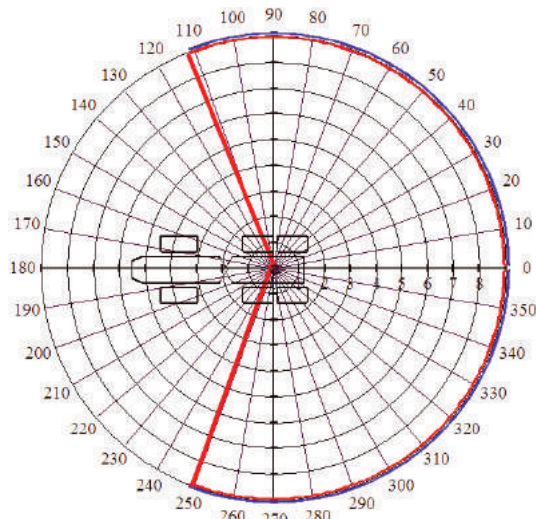
ограничения по грузоподъемности манипулятора (соответственно, изменится и рабочая зона харвестера). На рис. 5 красным цветом показаны рабочие зоны, определяемые устойчивостью машины. Синим цветом показаны рабочие зоны, формируемые ограничениями грузоподъемности манипулятора.

В настоящее время за рубежом выпускается множество моделей харвестерных головок, которые различаются по максимальному диаметру валки, скорости протяжки дерева, максимальному диаметру обрезки сучьев, количеству и расположению протяжных валцов и т. д. Существующие головки харвестеров подразделяют на три класса в зависимости от их диаметра и массы: 1) легкие (масса 300...600 кг), головки харвестеров наименьшего диаметра (5...40 см); 2) средние (700...1000 кг), многоцелевая головка харвестера (5...50 см); 3) тяжелые (1000...1200 кг), харвестерные головки для окончательной резки (10...60 см). Существуют и головки харвестеров весом свыше 3500 кг — они предназначены для обработки деревьев диаметром 1 м [21, 22].

Рассмотрим варианты рабочей зоны харвестера со следующими головками: Н754 (масса 820 кг), Н414 (масса 1030 кг), Н480С (масса 1280 кг) (рис. 6).

Диаметр спиливания, диаметр реза, сила протаскивания зависят от массы головки харвестера. Поэтому при выборе головки необходимо обратить внимание на условия заготовки сортиментов. Деревья как предмет обработки лесосечными машинами отличаются большим разнообразием размеров. Более тяжелая головка обычно срезает деревья с большим диаметром. При этом ей требуется и более тяжелый носитель для обеспече-

ния стабильности всей работы [21, 22]. Из рис. 6 видно, как изменяется рабочая зона харвестера в зависимости от массы харвестерной головки.



**Рис. 8.** Диаграмма оптимальной рабочей зоны многооперационной машины

**Fig. 8.** The diagram of the optimal working area of a multi-operation machine

Изменения конфигурации рабочей зоны харвестера при работе в древостоях с разным объемом хлыста показаны на рис. 7.

При оптимальном подборе технологического оборудования в зависимости от веса и геометрических параметров базовой машины и характеристик древостоя на диаграмме наблюдается максимальное совпадение зон, определенных ограничением по грузоподъемности манипулятора и по устойчивости машины. При этом геометрические размеры зон максимальны и их

конфигурация представляет собой сектор, образующий дугой с радиусом, равным максимальному вылету манипулятора, и с углом, соответствующим максимальному углу поворота манипулятора. Пример такого подбора приведен на рис. 8. На диаграмме показана рабочая зона харвестера массой 22 800 кг, оснащенного манипулятором с максимальным вылетом 8,6 м и грузовым моментом 197 кН · м, с харвестерной головкой массой 930 кг и характеристикой лесонасаждений с весом деревьев до 5000 Н (0,5 м<sup>3</sup>).

## Выводы

1. Предложенная методика определения рабочей зоны манипулятора позволяет наиболее эффективно подобрать комплект технологического оборудования харвестера для различных природно-производственных условий.

2. Полученные данные о конфигурации и геометрических размерах рабочей зоны дают возможность с большей точностью определять производительность харвестера и с большей степенью достоверности моделировать его работу в различных природно-производственных условиях.

3. Компьютерная программа по подбору технологического оборудования с заданными техническими характеристиками позволяет повысить точность расчетов благодаря наглядной визуализации результатов.

## Список литературы

- [1] Laptev A., Makarenko A., Bykovskiy M. Determining of work efficiency zones for a multiprocessor harvesting machine with grapple // *Forest engineering: Making a positive contribution*. 48th Symposium on Forest Mechanization. Linz (Austria), 2015. Pp. 447–449.
- [2] Лаптев А.В., Макаренко А.В., Быковский М.А. Определение зоны эффективной работы многооперационной лесозаготовительной машины манипуляторного типа // *Научно-технический вестник Поволжья*, 2015. № 6. С. 70–72.
- [3] Дербин В.М., Дербин М.В. Технология работы харвестера при выборочных рубках // *Лесотехнический журнал*, 2016. № 2. С. 69–75. DOI: 10.12737/19956
- [4] The Use of Harvester Technology in Production Forests / J. Dvořák, R. Bystrický, P. Hošková, M. Hřib, M. Jarkovská, J. Kováč, J. Krilek, P. Natov, L. Natovová. *Kostelec nad Černými lesy: Folia Forestalia Bohemica*, 2011. 156 p.
- [5] Матросов А.В., Лаптев А.В. Технологии малообъемных рубок леса в лесах защитной категории // *Матер. Международной научно-технической конференции «Лесозаготовительное производство: проблемы и решения»*. Минск, БГТУ, 26–28 апреля 2017 г. Минск: БГТУ, 2017. С. 191–196.
- [6] Макаренко А.В., Быковский М.А. Многооперационные машины для лесозаготовок и лесохозяйственного производства. М.: Вектор ТиС, 2009. 372 с.
- [7] Методические указания «Надежность в технике. Оценка параметров безопасности колесных и гусеничных машин по опрокидыванию. Характеристики динамической и статистической устойчивости. РД 50-223–81». М.: Изд-во стандартов, 1981. 64 с.
- [8] Добрачев А.А., Раевская Л.Т., Швец А.В. Кинематические схемы, структуры и расчет параметров лесопромышленных манипуляторных машин. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. 128 с.
- [9] Полетайкин В.Ф. Комбинированные манипуляторы лесосечных и лесотранспортных машин. Динамика элементов конструкции. Красноярск: СибГТУ, 2014. 167 с.
- [10] Артамонов Ю.Г. Проектирование технологического оборудования манипуляторных лесных машин. Л.: ЛТА, 1985. 84 с.
- [11] Емтыль З.К., Бартенев И.М., Драпалюк М.В., Попиков П.И., Татаренко А.П., Бухояров Л.Д. Гидроманипуляторы и лесное технологическое оборудование / под ред. И.М. Бартенева. М.: Флинта; Наука, 2011. 408 с.
- [12] Сюнев В.С., Селиверстов А.А., Герасимов Ю.Ю., Соколов А.П. Лесосечные машины в фокусе биоэнергетики: конструкции, проектирование, расчет. Йёнссу: НИИ леса Финляндии «Metla», 2011. 143 с.
- [13] Анисимов Г.М., Кочнев А.М. Лесотранспортные машины. СПб.: Лань, 2009. 448 с.
- [14] Шимкович Д.Г. О соотношениях для оценки силовых и конструктивных параметров грузоподъемных манипуляторов на начальных стадиях // *Лесной журнал*, 2001. № 1. С. 56–62.
- [15] Люманов Р.М. Машинная валка леса. М.: Лесная промышленность, 1990. 280 с.
- [16] Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин. М.: Экология, 1995. 256 с.
- [17] Арико С.Е. Влияние вылета манипулятора на эффективность работы харвестера // *Тр. БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность: Лесопромышленный комплекс. Транспортно-технологические вопросы*, 2011. № 2. С. 117–121.
- [18] Чайка О.Р. Методика оценки доступности деревьев для захвата при моделировании работы харвестера // *Лесной журнал*, 2011. № 2. С. 91–93.
- [19] Ovaskainen H. Työmallit koneellisessa puunkorjuussa. *Work models in mechanical tree harvesting*. Helsinki: Metsäteho Oy, 2012. 46 p.
- [20] Якимович С.Б., Тетерина М.А. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. 201 с.
- [21] Sowa J.M., Gielarowicz K., Gaj-Gielarowicz D. Charakterystyka i rozwój konstrukcji głowic harwesterowych do pozyskiwania drew // *Forestry Letters, Rocznik*, 2013, v. 105, pp. 57–76.
- [22] Aniszewska M., Brzózko J., Skarżyski J. Harwestery do pozyskiwania drewna stosowane w polskich lasach. Część 2. Głowice harwesterowe // *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna, Poznań*, 2011, no. 2, pp. 4–7.

## Сведения об авторах

**Лаптев Александр Валентинович** — старший преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), laptev@mgul.ac.ru

**Матросов Алексей Васильевич** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), matrosov@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 12.04.2018.

Принята к публикации 20.08.2018.

## RATIONALE FOR CONFIGURATION AND GEOMETRIC DIMENSIONS OF WHEELED HARVESTER WORKING ZONE

**A.V. Laptev, A.V. Matrosov**

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

laptev@mgul.ac.ru

Theoretical and experimental studies on the basis of the harvester working area are presented. By the developed technique and the computer program there were performed the calculations on the influence of technological parameters of process equipment and forest mensuration parameters of the applied trees when harvesting logs on the working zone of the harvester. The given technique of definition of a working zone of the manipulator proceeding from stability of the machine allows to choose most effectively a set of the processing equipment of the harvester for various natural and production conditions of logging areas.

**Keywords:** multioperational forest harvesting machines, harvester head, harvester working area, manipulator landing

**Suggested citation:** Laptev A.V., Matrosov A.V. *Obosnovanie konfiguratsii i geometricheskikh razmerov rabochey zony kolesnogo kharvestera* [Rationale for configuration and geometric dimensions of wheeled harvester working zone]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 77–85. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-77-85

## References

- [1] Laptev A., Makarenko A., Bykovskiy M. Determining of work efficiency zones for a multiprocessor harvesting machine with grapple. *Forest engineering: Making a positive contribution. 48th Symposium on Forest Mechanization. Linz, Austria, 2015*, pp. 447–449.
- [2] Laptev A.V., Makarenko A.V., Bykovskiy M.A. *Opredelenie zony effektivnoy raboty mnogooperatsionnoy lesozagotovitel'noy mashiny manipulyatornogo tipa* [Definition of a zone of effective work of a multipurpose logging machine of a manipulator type]. *Nauchno-tehnicheskiy vestnik Povolzh'ya* [Scientific and Technical Herald of the Volga Region], 2015, no. 6, pp. 70–72.
- [3] Derbin V.M., Derbin M.V. *Tekhnologiya raboty kharvestera pri vyborochnykh rubkakh* [The technology of the harvester's work in selective felling]. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forest Engineering Journal], 2016, no. 2, pp. 69–75. DOI: 10.12737/19956
- [4] Dvořák J., Bystrický R., Hošková P., Hrib M., Jarčovská M., Kováč J., Krilek J., Natov P., Natovová L. *The Use of Harvester Technology in Production Forests. Kostelec nad Černými lesy: Folia Forestalia Bohemica*, 2011, 156 p.
- [5] Matrosov A.V., Laptev A.V. *Tekhnologii maloob'emnykh rubok lesa v lesakh zashchitnoy kategorii* [Technology of small volume of logging in forests of the protective category]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy konferentsii «Lesozagotovitel'noe proizvodstvo: problemy i resheniya»*. Minsk, BGTU, 26–28 April 2017. [«Lesozagotovitel'noe production: problems and solutions»: Materials of the International Scientific and Technical Conference]. Minsk, BGTU, 2017. pp. 191–196.
- [6] Makarenko A.V., Bykovskiy M.A. *Mногоoperatsionnye mashiny dlya lesozagotovok i lesokhozyaystvennogo proizvodstva* [Multioperational machines for logging and forestry production]. Moscow: Vector TiS, 2009, 372 p.
- [7] *Metodicheskie ukazaniya «Nadezhnost' v tekhnike. Otsenka parametrov bezopasnosti kolesnykh i gusenichnykh mashin po oprokidyvaniyu. Kharakteristiki dinamicheskoy i statisticheskoy ustoychivosti. RD 50-223-81»* [Methodical instructions «Reliability in technology. Estimation of safety parameters of wheeled and tracked vehicles by rollover. Characteristics of dynamic and statistical stability. RD 50-223-81»]. Moscow: Izd-vo standartov [Standards Publ.], 1981, 64 p.
- [8] Dobrachev A.A., Raevskaya L.T., Shvets A.V. *Kinematicheskie skhemy, struktury i raschet parametrov lesopromyshlennykh manipulyatornykh mashin* [Kinematic schemes, structures and calculation of parameters of forestry manipulators]. Ekaterinburg: UGLTU, 2014, 128 p.
- [9] Poletaykin V.F. *Kombinirovannyye manipulyatory lesosechnykh i lesotransportnykh mashin. Dinamika elementov konstruktsii* [Combined manipulators of logging and forest vehicles. Dynamics of structural elements]. Krasnoyarsk: SibGTU, 2014, 167 p.
- [10] Artamonov Yu.G. *Proektirovanie tekhnologicheskogo oborudovaniya manipulyatornykh lesnykh mashin* [Designing of technological equipment of manipulative forest machines]. Saint Petersburg: LTA, 1985, 84 p.
- [11] Emtyl' Z.K., Bartenev I.M., Drapalyuk M.V., Popikov P.I., Tatarenko A.P., Bukhtoyarov L.D. *Gidromanipulyatory i lesnoe tekhnologicheskoe oborudovanie* [Hydromanipulators and forestry technological equipment]. Moscow: Flinta; Nauka, 2011, 408 p.



- [12] Syuney V.S., Seliverstov A.A., Gerasimov Yu.Yu., Sokolov A.P. *Lesosechnye mashiny v fokuse bioenergetiki: konstruktсии, proektirovanie, raschet* [Logging machines in the focus of bioenergy: structure, design, calculation]. Yoensuu: NII lesa Finlyandii «Metla», 2011, 143 p.
- [13] Anisimov G.M., Kochnev A.M. *Lesotransportnye mashiny* [Lesotransportnye machines]. Saint Petersburg: Lan', 2009, 448 p.
- [14] Shimkovich D.G. *O sootnosheniyakh dlya ocenki silovykh i konstruktivnykh parametrov gruzopod"emnykh manipulyatorov na nachal'nykh stadiyakh* [On the relations of power and to assess design parameters of lifting manipulators in the initial stages]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry Journal], 2001, no. 1, pp. 56–62.
- [15] Lyumanov R.M. *Mashinnaya valka lesa* [Machine felling of the forest]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1990, 280 p.
- [16] Aleksandrov V.A. *Modelirovanie tekhnologicheskikh protsessov lesnykh mashin* [Modeling of technological processes of forest machines]. Moscow: Ekologiya [Ecology], 1995, 256 p.
- [17] Ariko S.E. *Vliyaniye vyleta manipulyatora na effektivnost' raboty harvestera* [Effect of the manipulator's departure on the efficiency of the harvester]. *Trudy BGTU. Lesnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost': Lesopromyshlenniy kompleks. Transportno-tekhnologicheskie voprosy*, 2011, no. 2, pp. 117–121.
- [18] Chayka O.R. *Metodika otsenki dostupnosti derev'ev dlya zakhvata pri modelirovanii raboty kharvestera* [Technique of tree availability assessment for gripping at harvester operation simulation]. *Lesnoy zhurnal* [Forestry Journal], 2011, no. 2, pp. 91–93.
- [19] Ovaskainen H. *Työmallit koneellisessa puunkorjuussa*. Helsinki: Metsäteho Oy, 2012, 46 p.
- [20] Yakimovich C.B., Teterina M.A. *Sinkhronizatsiya obrabatyvayushche-transportnykh sistem zagotovki i pervichnoy obrabotki drevesiny* [Synchronization of processing and transport systems of harvesting and primary wood processing]. Yoshkar-Ola: MarGTU, 2011, 201 p.
- [21] Sowa J.M., Gielarowiec K., Gaj-Gielarowiec D. *Charakterystyka i rozwój konstrukcji głowic harvesterowych do pozyskiwania drew* [Characteristics and development of harvester heads for logging]. *Forestry Letters, Rocznik*, 2013, v. 105, pp. 57–76.
- [22] Aniszewska M., Brzózko J., Skarżyski J. *Harwestery do pozyskiwania drewna stosowane w polskich lasach* [Harvesters for logging used in Polish forests]. Część 2. Głowice harvesterowe. *Technika Rolnicza Ogrodnicza Leśna*. Poznań, 2011, no. 2, pp. 4–7.

## Authors' information

**Laptev Aleksandr Valentinovich** — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), [laptev@mgul.ac.ru](mailto:laptev@mgul.ac.ru)

**Matrosov Aleksey Vasil'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), [matrosov@mgul.ac.ru](mailto:matrosov@mgul.ac.ru)

Received 12.04.2018.

Accepted for publication 20.08.2018.

УДК 681.586.629.78

DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93

## ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

В.И. Запруднов<sup>1</sup>, Н.Г. Серегин<sup>2</sup>, Н.Н. Гречаная<sup>3</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

<sup>3</sup>Акционерное общество «Научно-производственное объединение измерительной техники», 141074, г. Королёв, ул. Пионерская, д. 2

zaprudnov@mgul.ac.ru

Рассмотрены вопросы мониторинга технического состояния промышленных и гражданских объектов с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, приводящих к повреждению или разрушению объектов. Приведены различные схемы устройств, входящих в состав телеметрических систем. Подробно рассмотрены виды и схемы первичных преобразователей на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД). Приведена схема установки, реализующей спектральный метод низкокогерентной интерферометрии, которая состоит из источника излучения, волоконно-оптической линии с разветвителем и спектрометра, содержащего отражательную дифракционную решетку, объектив и ПЗС-матрицу. Исследования ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо подтвердили точность и надежность работы датчика. База  $d$  интерферометра значительно меньше длины крепежного элемента (примерно в 1000 раз), влияние изменения температуры окружающего воздуха на изменение базы  $d$  ничтожно (десятые доли нанометра на 100 °С). Применение метода волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии обеспечивает высокую точность и надежность контроля деформаций крепежных элементов строительных конструкций в процессе их эксплуатации, что позволяет рекомендовать использование ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо в качестве первичных преобразователей (датчиков) в составе измерительных систем мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений. Разработана технология изготовления и проведены испытания чувствительных элементов ВОД температуры, выполненных на основе интерферометра Фабри — Перо. По результатам испытаний сделан вывод о надежности данных ВОД и их применения в автоматизированных измерительных системах.

**Ключевые слова:** уникальные здания и сооружения, мониторинг технического состояния, крепежный элемент, деформация, измерительные системы, волоконно-оптический датчик, ВОД, чувствительный элемент, интерферометр Фабри — Перо

**Ссылка для цитирования:** Запруднов В.И., Серегин Н.Г., Гречаная Н.Н. Информационно-измерительные системы мониторинга технического состояния строительных конструкций // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 86–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93

**М**ониторинг технического состояния важных и опасных промышленных и гражданских объектов с целью предупреждения чрезвычайных ситуаций, приводящих к повреждению или разрушению объектов — это непрерывный круглосуточный процесс инструментального автоматизированного наблюдения и регистрации отдельных параметров объекта. Мониторинг осуществляется с помощью оптических, лазерных и геофизических методов и инструментов. В настоящей работе рассматривается такой вид мониторинга, при котором отслеживаются деформации и сдвиги объекта и отдельных его элементов, что позволяет предотвратить наступление негативного события.

Мониторинг технического состояния строительных конструкций обеспечивает их безопасное функционирование, а результаты мониторинга являются основой эксплуатационных работ на промышленных и гражданских объектах. При мониторинге осуществляют контроль

над процессами, протекающими в конструкциях объектов и в грунте. Его проводят для своевременного обнаружения на ранней стадии тенденций негативного изменения напряженно-деформированного состояния конструкций, которое может повлечь переход объекта в ограниченно работоспособное или аварийное состояние, а также с целью получения данных, необходимых для разработки мероприятий по устранению возникших негативных процессов.

В эксплуатируемых промышленных и гражданских объектах доступ к большей части несущих конструкций существенно ограничен, а работы по традиционному обследованию их технического состояния трудоемки и дороги. Для таких объектов применяют специальные методы и технические средства раннего выявления и локализации мест изменения напряженно-деформированного состояния конструкций с последующим обследованием технического состояния выявленных опасных участков.

## Цель работы

Цель работы — рассмотреть вопросы мониторинга технического состояния промышленных и гражданских объектов, проводящегося для предупреждения чрезвычайных ситуаций, следствием которых может быть повреждение или разрушение объекта.

## Материалы и методы

Для проведения контроля и ранней диагностики технического состояния промышленных и гражданских объектов устанавливают автоматизированные стационарные системы (станции) мониторинга технического состояния, которые должны в автоматизированном режиме выявлять изменения напряженно-деформированного состояния конструкций с локализацией их опасных участков, определять уровень крена здания или сооружения, а в случае необходимости фиксировать значение и других параметров (например, деформации, давления). Настройку станции мониторинга осуществляют с помощью заранее разработанной математической модели для проведения комплексных инженерных расчетов по оценке возникновения и развития дефектов в строительных конструкциях.

Станция мониторинга технического состояния строительных конструкций должна: осуществлять комплексную обработку результатов измерений; анализировать различные (динамические, деформационные, геодезические и др.) измеренные параметры строительных конструкций и сравнивать их с предельно допустимыми значениями; выдавать информацию, необходимую для выявления на ранней стадии негативных изменений напряженно-деформированного состояния конструкций, которые могут привести объект в ограниченно работоспособное или аварийное состояние.

При выявлении мест изменения напряженно-деформированного состояния конструкций проводят дополнительное обследование этих частей и по результатам обследования делают выводы о техническом состоянии конструкций, причинах изменения их напряженно-деформированного состояния и о необходимости принятия мер по восстановлению или усилению конструкций.

По результатам мониторинга выдают заключение, форма которого должна быть разработана при проектировании станции мониторинга технического состояния строительных конструкций.

Кроме того, проводят мониторинг системы инженерно-технического обеспечения объектов на предмет безопасности ее функционирования. Полученные данные являются основой работ по

обеспечению безопасной эксплуатации объектов. При мониторинге осуществляется контроль за исправностью системы инженерно-технического обеспечения и результатами ее работы с целью своевременного обнаружения на ранней стадии негативных факторов, угрожающих безопасности объектов. Для проведения контроля и ранней диагностики технического состояния конкретного объекта устанавливают систему мониторинга инженерно-технического обеспечения.

Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений [1, 2] регламентируется ГОСТ 32019-2012 [3]. В стандарте указаны правила проектирования и установки стационарных станций для проведения мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений, а также порядок представления результатов проведения мониторинга.

В строительной отрасли широкое распространение получили станции мониторинга технического состояния строительных конструкций на базе волоконно-оптических датчиков (ВОД) [4]. Фасад здания, как и любой другой компонент строительных конструкций, нуждается в мониторинге технического состояния [5]. Мониторинг технического состояния фасадов зданий включает контроль динамики напряженного состояния, измерение пространственного и временного распределения механических напряжений, деформации, смещения, температуры, влажности, а также вентилируемости конструкции. Для его осуществления целесообразно применять станции мониторинга, базирующиеся на ВОД.

Главным преимуществом любых ВОД является возможность дистанционного контроля на расстоянии нескольких километров. При этом световод может исполнять роль кабеля для передачи оптического излучения к чувствительному элементу, расположенному в зоне измерений, и одновременно быть чувствительным элементом датчика. Изготовленный из кварцевого стекла, световод не боится влияния погодных условий и агрессивных компонентов городской атмосферы. Отсутствие электрического питания и каких-либо электрических цепей в световоде исключает возникновение пожароопасной ситуации в процессе эксплуатации ВОД. Волоконно-оптические датчики — это класс уникальных элементов, обладающих широким спектром измеряемых параметров, конструктивной мобильностью и адаптивностью к различным условиям установки, малыми габаритами, возможностью осуществлять измерения при воздействии мощных электромагнитных полей без потери заданной точности.

На рынке отечественной и зарубежной измерительной техники есть большой выбор ВОД. Это позволяет найти адекватное соотношение

между ценой прибора и его качеством, включая количество параметров, измеряемых с заданной точностью. Имеется достаточный опыт производства и применения ВОД в России [4]. Основными компонентами изготавливаемых ВОД являются либо точечные ВБР-датчики, либо распределенные датчики на базе комбинационного рассеяния света в оптических волокнах (эффект Рамана).

Чувствительными элементами точечных ВБР-датчиков являются волоконные брэгговские решетки (ВБР). Такие решетки записаны в оптическом волокне при помощи ультрафиолетового лазера и представляют собой участок световода с периодическим изменением показателя преломления вдоль оси. ВБР каждого датчика отражает свет определенной волны с шириной спектра 0,2 нм. При механическом и температурном воздействии изменяются период и показатель преломления решетки, вследствие чего наблюдается смещение длины волны отраженного света. Измеряя величину этого смещения, можно определить относительную деформацию и изменение температуры. Для того чтобы разделять эти величины, необходимо применять одновременно две решетки, одна из которых не подвергается механическим воздействиям. По ней фиксируют сдвиги длины волны вследствие температурных изменений. Это позволяет учесть влияние температуры на вторую решетку, а также тепловое расширение материала, к которому прикреплен датчик и, таким образом, измерять деформацию. В одной оптоволоконной линии может быть объединено множество решеток, каждая из которых дает отклик на своей длине волны. При этом расстояние между решетками может быть от 10 мм до нескольких километров.

Распределенная система термометрии — это система, предназначенная для непрерывного измерения температуры протяженных сложных объектов. Чувствительным элементом системы является малогабаритный волоконно-оптический кабель длиной до 8 км, не требующий электрического питания. Система отличается широким диапазоном измерения температуры ( $-55 \dots +300$  °С), высокой точностью и высоким пространственным разрешением (до 0,5 м).

Основные элементы распределенного датчика температуры на основе комбинационного рассеяния — это импульсный лазер и подключенное к источнику оптическое волокно, которое является чувствительным элементом [6]. Суть рамановского рассеяния состоит в обмене энергией между падающим фотоном и молекулой вещества. Если молекула переходит из основного колебательного состояния в возбужденное, рассеянный фотон смещается по частоте в красную область спектра и, таким образом, генерируется стоксова ком-

понента спектра. Возможен также и обратный процесс, когда структурная молекула теряет энергию и перерассеянный фотон с более высокой энергией генерирует антистоксову линию в синей области спектра относительно линии накачки. Очевидно, что заселенность возбужденного уровня напрямую зависит от температуры вещества, а следовательно, и интенсивность антистоксовой компоненты будет проявлять температурную зависимость. Таким образом, регистрируя временную динамику интенсивности антистоксовой компоненты при зондировании импульсным излучением, с помощью такого сенсора можно проводить измерения температуры вдоль всего волокна.

Рассмотренные технологии мониторинга технического состояния объектов применяются в области строительства, энергетики, нефтегазовой промышленности, авиастроения, производства композиционных материалов [7–15].

Помимо точечных ВБР-датчиков и распределенных датчиков на основе комбинационного рассеяния света в оптических волокнах (эффекта Рамана), в автоматизированных измерительных системах мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений широко применяют ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо. ВОД температуры, который можно рассматривать, как ВОД линейных перемещений на основе интерферометра Фабри — Перо, показан на рис. 1 [16, 17].

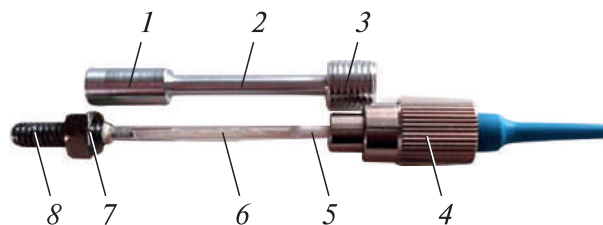


Рис. 1. Волоконно-оптический датчик температуры на основе интерферометра Фабри — Перо

Fig. 1. Fiber optic temperature sensor based on Fabry — Perot interferometer

Датчик состоит из корпуса 2, изготовленного из алюминиевого сплава АМГ6 (или другого материала) и имеющего с одной стороны наружную резьбу 3 для соединения с коннектором (волоконно-оптическим разъемом) 4, а с другой стороны — внутреннюю резьбу 1 для выполнения винтом 8 с контргайкой 7 настроечных перемещений зеркального торца оптического капилляра 6 относительно торца оптического волокна 5, закрепленного в волоконно-оптическом разьеме. Базой интерферометра Фабри — Перо является расстояние  $d$  между зеркальным торцом оптического капилляра и торцом оптического волокна, обращенными навстречу друг другу.



В конструкции ВОД температуры для соединения оптических волокон применен коннектор типа FC. Он отвечает всем требованиям. Схема установки, реализующей спектральный метод низкокогерентной интерферометрии [17], включает источник излучения, волоконно-оптическую линию с разветвителем и спектрометр, содержащий отражательную дифракционную решетку, объектив и ПЗС-матрицу (ПЗС — прибор с зарядовой связью) (рис. 2).

Излучение от широкополосного оптического источника по оптическому волокну попадает на интерферометр Фабри — Перо, сформированный на торце волокна (см. рис. 1). Отраженный от интерферометра Фабри — Перо сигнал через разветвитель попадает на вход спектрометра [16]. В спектрометре по оптическому волокну проходит сигнал и направляется через объектив на дифракционную решетку, на которой он раскладывается на дифракции нескольких порядков. Затем первый и второй порядки дифракции через ПЗС-матрицу в виде информационного сигнала по кабелю поступают на компьютер.

Интенсивность отраженного сигнала будет описываться произведением функции отражения интерферометра Фабри — Перо и гауссовой функции источника. Точность измерения  $d$  и чувствительность метода измерения определяется точностью измерения длины волны и ширины спектра излучения, т. е. спектральными характеристиками прибора, в том числе характеристиками ПЗС-матрицы и отношением сигнал/шум.

Разработана технология изготовления и проведены испытания чувствительных элементов ВОД температуры, выполненных на основе интерферометра Фабри — Перо [17]. По результатам испытаний сделан вывод о надежности данных элементов и перспективности их применения в автоматизированных измерительных системах.

## Результаты и обсуждение

Рассмотрим пример применения метода волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии для контроля деформации крепежного элемента строительной конструкции в процессе ее эксплуатации [18, 19]. На рис. 3 приведены сборочные единицы и детали крепежного элемента строительной конструкции.

Контроль деформации крепежного элемента при изменении нагрузки на него осуществляется следующим образом. Излучение от широкополосного оптического источника по оптическому волокну через волоконный разветвитель подается на чувствительный элемент ВОД, смонтированного в крепежном элементе. После воздействия света на чувствительный элемент ВОД, представляющий собой интерферометр Фабри — Перо,

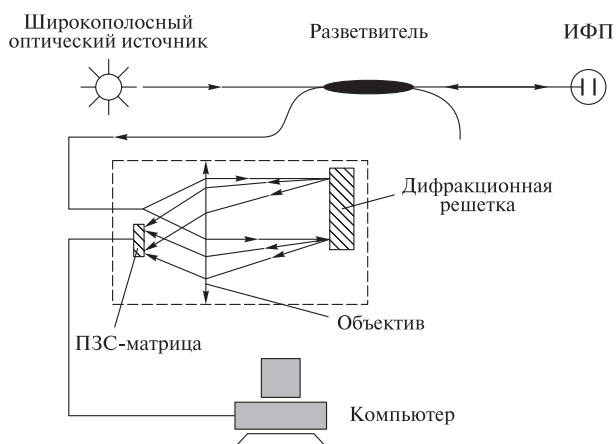


Рис. 2. Схема установки для измерения базы интерферометра Фабри — Перо (ИФП — интерферометр Фабри — Перо; ПЗС — прибор с зарядовой связью)

Fig. 2. Installation scheme for measuring the base of the Fabry-Perot interferometer (FPI — Fabry — Perot interferometer; CCD — charge-coupled device)

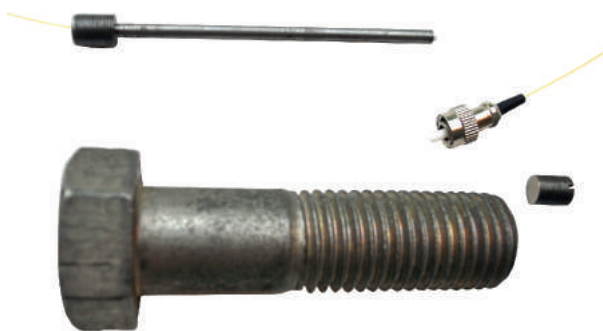
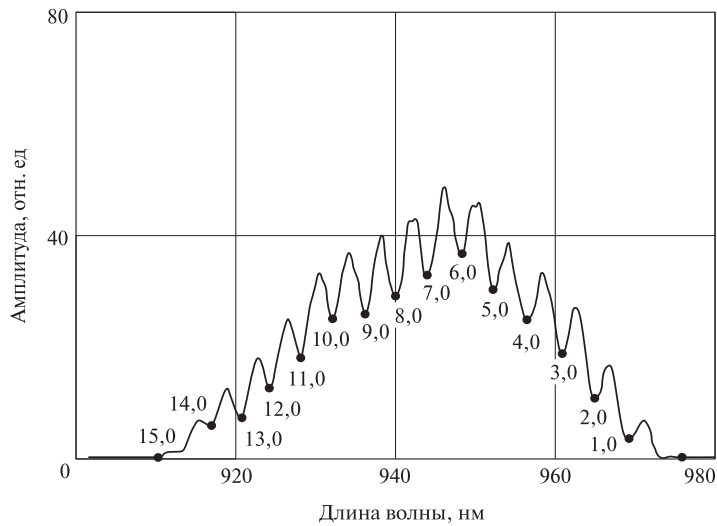


Рис. 3. Сборочные единицы и детали крепежного элемента строительной конструкции

Fig. 3. Assembly units and fastener details of the building structure

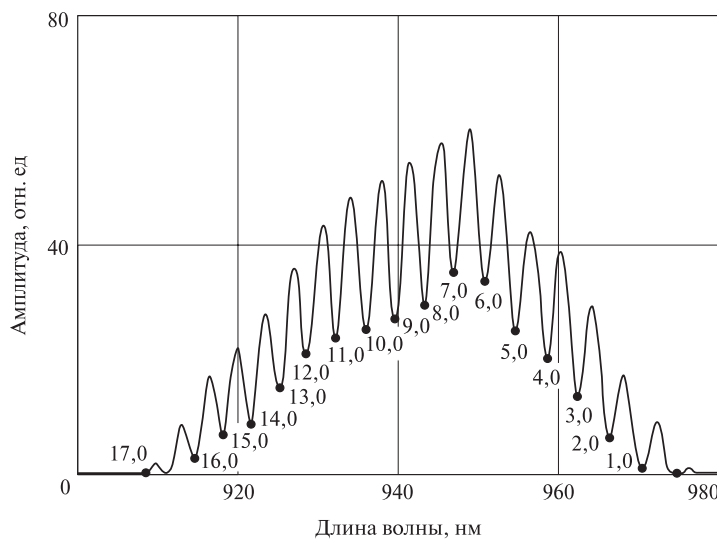
отраженный световой сигнал подается в спектрометр, который регистрирует спектр этого сигнала. Затем в блоке обработки проводится анализ и путем преобразования Фурье из этого спектра вычисляется база интерферометра Фабри — Перо, т. е. расстояние  $d$  между торцами вкладыша и оптического волокна. Спектр сигнала и база  $d$  интерферометра зависят от напряженного состояния крепежного элемента, а именно от величины его продольной деформации от напряжений сжатия или растяжения. На рис. 4 приведены значения спектра отражения интерферометра Фабри — Перо при отсутствии нагрузки на крепежный элемент, а на рис. 5 — при растяжении крепежного элемента.

При сравнении спектров отражения интерферометра Фабри — Перо, представленных на рис. 4 и 5, очевидны их существенные различия. Обработка этих сигналов путем преобразования Фурье дает возможность вычислять величину  $d$  с высокой



**Рис. 4.** Спектр отражения интерферометра Фабри — Перо при отсутствии нагрузки на крепежный элемент [19, 20]

**Fig. 4.** The reflection spectrum of the Fabry — Perot interferometer with no load on the mounting element [19, 20]



**Рис. 5.** Спектр отражения интерферометра Фабри — Перо при растяжении крепежного элемента [19, 20]

**Fig. 5.** The reflection spectrum of the Fabry — Perot interferometer when a fastener is stretched [19, 20]

степенью точности и тем самым контролировать удлинение крепежного элемента при его упругой деформации в пределах 0...300 мкм с точностью до ±30 нм, что позволяет определять пороги допустимых нагрузок в процессе эксплуатации строительных конструкций.

**Выводы**

Проведенные исследования ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо подтвердили точность и надежность работы датчика, так как база интерферометра *d* значительно меньше длины крепежного элемента (приблизительно

в 1000 раз), влияние изменения температуры окружающего воздуха на изменение базы *d* ничтожно (десятые доли нанометра на 100 °С).

Таким образом, метод волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии обеспечивает высокую точность и надежность контроля деформаций крепежных элементов строительных конструкций в процессе их эксплуатации, что позволяет рекомендовать применение ВОД на основе интерферометра Фабри — Перо в качестве первичных преобразователей (датчиков) в составе измерительных систем мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений.

## Список литературы

- [1] Запруднов В.И., Стриженко В.В. Основы строительного дела. М.: МГУЛ, 2008. 471 с.
- [2] Гиясов Б.И., Серегин Н.Г. Конструкции уникальных зданий и сооружений из древесины. М.: АСВ, 2014. 88 с.
- [3] ГОСТ 32019–2012. Мониторинг технического состояния уникальных зданий и сооружений. Правила проектирования стационарных систем (станций) мониторинга. М.: Стандартинформ, 2014, 130 с.
- [4] Шишкин В.В., Гранев И.В., Шелемба И.С. Отечественный опыт производства и применения волоконно-оптических датчиков // Прикладная фотоника, 2016. Т. 3. № 1. С. 61–75.
- [5] Рубцов И.В., Неугодинов А.П., Егоров Ф.А., Поспелов В.И. Организация системы мониторинга фасадных конструкций на базе волоконно-оптических датчиков // Технологии строительства, 2004. № 5 (33). С. 12–13.
- [6] Потапов В.Т., Жамалетдинов М.Н., Жамалетдинов Н.М., Мамедов А.М., Потапов Т.В. Волоконно-оптическое устройство для измерения абсолютных расстояний и перемещений с нанометрическим разрешением // Приборы и техника эксперимента, 2013. № 5. С. 103–107.
- [7] Bing Yu, Dae Woong Kim, Jiang Deng, Hai Xiao, Anbo Wang. Fiber Fabry-Perot sensors for detection of partial discharges in power transformers // Appl. Optics, 2003, v. 42, no. 16, pp. 60–67.
- [8] Rao Y.J., Jackson D. Recent progress in fiber optic low-coherence interferometry // Meas. Sci. Technol., 1996, v. 7, no. 16 pp. 981–989.
- [9] Nieva Patricia M. New trends on MEMS sensor technology for harsh environmental applications // Sensors Transducers Journal, 2007, Oct., spec. iss., pp.10–30. (Русский перевод: Ниева Патриция М. «Новые тенденции в технологии MEMS-датчиков для применения в жестких условиях», в журнале «Датчики и системы», 2008, № 5, с. 38–46).
- [10] Oh Ki D., Ranade J., Arya V., Wang A., Claus R.O. Miniaturized fiber optic magnetic field sensors // SPIE, 1998, v. 3538, pp. 136–142.
- [11] Taplin S., Podoleanu A.Gh., Webb D.J., Jackson D.A. Displacement Sensor Using Channeled Spectrum Dispersed on a Linear CCD Array // Electron. Lett., 1993, v. 29, pp. 893.
- [12] Podoleanu A.Gh., Taplin S., Webb D.J., Jackson D.A. Channeled Spectrum Liquid Refractometer // Rev. Sci. Instr., 1993, v. 64, no. 10, pp. 3028, 3029.
- [13] Кузнецов А.Г., Бабин С.А., Шелемба И.С. Распределенный волоконный датчик температуры со спектральной фильтрацией направленными волоконными ответвителями // Квантовая электроника, 2009. Т. 39, № 11. С. 1078–1081.
- [14] Hay A.D. Bolt stud or fastener having an embedded fiber optic Bragg grating sensor for sensing tensioning strain. Patent US 5,945,665. Date of patent: Aug 31, 1999.
- [15] Потапов Т.В., Демин А.Н., Жамалетдинов Н.М. Погрешности измерения электрического тока волоконно-оптическим датчиком на основе эффекта Фарадея в  $Bi_{12}GeO_{20}$  // Датчики и системы, 2016. № 6. С. 53–56.
- [16] Серегин Н.Г., Беляков В.А., Сорокин С.В., Яковлев А.В. Применение волоконно-оптического датчика для контроля, поверки и тарировки датчиков температуры // Инженерный вестник, 2014. № 6. С. 526–533.
- [17] Шашурин В.Д., Потапов В.Т., Серегин Н.Г., Сорокин С.В., Ветрова Н.А., Федоркова Н.В. Технология изготовления и результаты испытаний чувствительных элементов волоконно-оптических датчиков температуры // Машиностроитель, 2016. № 5. С. 34–41.
- [18] Шашурин В.Д., Потапов В.Т., Серегин Н.Г., Сорокин С.В., Ветрова Н.А., Колесников Л.А. Применение метода волоконно-оптической низкокогерентной интерферометрии для контроля деформаций крепежных элементов строительных конструкций в процессе эксплуатации // Машиностроитель, 2016. № 8. С. 13–19.
- [19] Серегин Н.Г., Гиясов Б.И. Измерительные системы диагностики и мониторинга технического состояния уникальных зданий и сооружений // Строительство: наука и образование, 2017. Т. 7. Вып. 3 (24). С. 19–35.
- [20] Исаев В.Г., Серегин Н.Г., Гречаная Н.Н. Измерение деформаций конструктивных элементов технических систем летательных аппаратов волоконно-оптическими устройствами // Информационно-технологический вестник, 2018. № 2 (16). С. 14–24.

## Сведения об авторах

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

**Серегин Николай Григорьевич** — канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «Московский государственный строительный университет» (НИУ МГСУ), seregin54@yandex.ru

**Гречаная Наталья Николаевна** — инженер Акционерного общества «Научно-производственное объединение измерительной техники», seregin54@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.08.2018.

Принята к публикации 01.10.2018.

## INFORMATION-MEASURING SYSTEMS OF TECHNICAL CONDITION OF CONSTRUCTION STRUCTURES MONITORING

V.I. Zaprudnov<sup>1</sup>, N.G. Seregin<sup>2</sup>, N.N. Grechanaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>Moscow State Building University (NIU MGSU), 26, Yaroslavl highway, 129337, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Scientific and Production Association of Measuring Technology, 2, Pionerskaya st., 141074, Korolyov, Moscow reg., Russia

zaprudnov@mgul.ac.ru

The article deals with the monitoring of technical condition at industrial and civil facilities in order to prevent emergencies leading to damage or destruction of objects. Various schemes of the devices that make up the telemetric systems are presented. The types and schemes of primary converters based on fiber-optic sensors (FOS) are considered in detail. A scheme of an installation realizing the spectral method of low-coherence interferometry is given. It consists of a radiation source, a fiber optic line with a splitter and a spectrometer containing a reflective diffraction grating, an objective and a PZS-matrix. The conducted researches of the FOS based on the Fabry — Perot interferometer confirmed its accuracy and reliability, since the base of the interferometer  $d$  is much smaller than the length of the fastener element, about 1000 times, the influence of the change in the ambient air temperature on the change in the base  $d$  is negligible and namely the fraction of nanometers at 100 °C. Thus, the application of the method of fiber-optic low-coherence interferometry makes it possible to provide high accuracy and reliable control of deformations of fasteners of building structures during their operation, which makes it possible to recommend the application of FOS based on the Fabry — Perot interferometer as primary converters (sensors) the composition of measuring systems for monitoring the technical condition of unique buildings and structures. The manufacturing technology is developed and tests of sensitive elements FOS temperature are carried out based on the Fabry — Perot interferometer which showed their reliability and future use in automated measuring systems.

**Keywords:** unique buildings and structures, monitoring of technical condition, fastening element, deformation, measuring systems, fiber-optical sensor (FOS), sensor, Fabry — Perot interferometer

**Suggested citation:** Zaprudnov V.I., Seregin N.G., Grechanaya N.N. *Informatsionno-izmeritel'nye sistemy monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya stroitel'nykh konstruksiy* [Information-measuring systems of technical condition of construction structures monitoring]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 86–93. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-86-93

### References

- [1] Zaprudnov V.I., Strizhenko V.V. *Osnovy stroitel'nogo dela* [The basics of civil engineering]. Moscow: MGUL, 2008, 471 p.
- [2] Giyasov B.I., Seregin N.G. *Konstruksii unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy iz drevesiny* [Constructions of unique buildings and structures from the wood]. Moscow: ASV, 2014, 88 p.
- [3] *GOST 32019–2012. Monitoring tekhnicheskogo sostoyaniya unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy. Pravila proektirovaniya stacionarnykh sistem (stantsiy) monitoringa* [Standard GOST 32019–2012. Monitoring of the technical status of unique buildings and structures. Rules for the design of stationary monitoring systems (stations)]. Moscow: Standartinform, 2014, 130 p.
- [4] Shishkin V.V., Granev I.V., Shelemba I.S. *Otechestvennyy opyt proizvodstva i primeneniya volokonno-opticheskikh datchikov* [Domestic experience of production and application of fiber-optic sensors]. *Prikladnaya fotonika* [Applied photonics], 2016, v. 3, no. 1, pp. 61–75.
- [5] Rubtsov I.V., Neugodnikov A.P., Egorov F.A., Pospelov V.I. *Organizatsiya sistemy monitoringa fasadnykh konstruksiy na baze volokonno-opticheskikh datchikov* [Organization of a system for monitoring façade structures based on fiber-optic sensors]. *Tekhnologii stroitel'stva* [Construction technology]. 2004, no. 5 (33), pp. 12–13.
- [6] Potapov V.T., Zhamaletdinov M.N., Zhamaletdinov N.M., Mamedov A.M., Potapov T.V. *Volokonno-opticheskoe ustroystvo dlya izmereniya absolyutnykh rasstoyaniy i peremeshcheniy s nanometricheskim razresheniem* [Fiber-optical device for measuring absolute distances and displacements with nanometric resolution]. *Pribory i tekhnika eksperimenta* [Devices and experimental technique], 2013, no. 5, pp. 103–107.
- [7] Bing Yu, Dae Woong Kim, Jiang Deng, Hai Xiao and Anbo Wang. Fiber Fabry-Perot senses for detection of partial discharges in power transformers, *Appl. optics*, 2003, v. 42, no. 16, pp. 60–67.
- [8] Rao Y.J., Jackson D. Recent progress in fiber optic low-coherence interferometry, *Meas. Sci. Technol.*, 1996, v. 7, pp. 981–989.
- [9] Hieva Patricia M. New trends on MEMS sensor technology for harsh environmental applications, *Sensors Transducers Journal*, Special issue, Oct. 2007, pp.10–30.
- [10] Oh Ki D., Ranade J., Arya V., Wang A., Claus R.O. Miniaturized fiber optic magnetic field sensors, *SPIE*, 1998, v. 3538, pp. 136–142.
- [11] Taplin S., Podoleanu A.Gh., Webb D.J., Jackson D.A. Displacement Sensor Using Channeled Spectrum Dispersed on a Linear CCD Array, *Electron. Lett.*, 1993, v. 29, pp. 893.
- [12] Podoleanu A.Gh., Taplin S., Webb D.J., Jackson D.A. Channeled Spectrum Liquid Refractometer, *Rev. Sci. Instr.*, 1993, v. 64, no. 10, pp. 3028-9.
- [13] Kuznetsov A.G., Babin S.A., Shelemba I.S. *Raspredeleennyy volokonnyy datchik temperatury so spektral'noy fil'tratsiey napravlennymi volokonnyimi otvetvityami* [Distributed fiber temperature sensor with spectral filtration by directional fiber couplers]. *Kvantovaya elektronika* [Quantum electronics], 2009, no. 11, v. 39, pp. 1078–1081.



- [14] Hay Arthur D. Bolt stud or fastener having an embedded fiber optic bragg grating sensor for sensing tensioning strain. Patent US 5,945,665. Date of Patent: Aug. 31, 1999.
- [15] Potapov T.V., Dyomin A.N., Zhamaletdinov N.M. *Pogreshnosti izmereniya elektricheskogo toka volokonno-opticheskim datchikom na osnove effekta Faradeya v  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$*  [Measurement errors in fiber-optic electric current sensor based on the Faraday effect in  $\text{Bi}_{12}\text{GeO}_{20}$  crystal]. *Datchiki i Sistemy* [Sensors and Systems], 2016, no. 6. pp. 53–56.
- [16] Seregin N.G., Belyakov V.A., Sorokin S.V., Yakovlev A.V. *Primenenie volokonno-opticheskogo datchika dlya kontrolya, poverki i tarirovki datchikov temperatury* [Application of a fiber-optic sensor for monitoring, checking and calibrating temperature sensors]. *Inzhenernyy vestnik* [Engineer-Herald], 2014, no. 6. pp. 526–533.
- [17] Shashurin V.D., Potapov V.T., Seregin N.G., Sorokin S.V., Vetrova N.A., Fedorkova N.V. *Tekhnologiya izgotovleniya i rezul'taty ispytaniy chuvstvitel'nykh elementov volokonno-opticheskikh datchikov temperatury* [Manufacturing technology and the results of testing of sensitive elements in the fiber-optic temperature sensors]. *Mashinostroitel'* [Machine engineer], 2016, no. 5. pp. 34–41.
- [18] Shashurin V.D., Potapov V.T., Seregin N.G., Sorokin S.V., Vetrova N.A., Kolesnikov L.A. *Primenenie metoda volokonno-opticheskoy nizkokogerentnoy interferometrii dlya kontrolya deformatsiy krepzhenykh elementov stroitel'nykh konstruksiy v protsesse ekspluatatsii* [Application of the method of fiber-optic low-coherence interferometry for the control of deformations of fasteners of building structures in the process of exploitation] *Mashinostroitel'* [Machine engineer ], 2016, no. 8. pp. 13–19.
- [19] Seregin N.G., Giyasov B.I. *Izmeritel'nye sistemy diagnostiki i monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya unikal'nykh zdaniy i sooruzheniy* [Measuring systems for diagnosing and monitoring the technical condition of unique buildings and structures]. *Stroitel'stvo: nauka i obrazovanie* [Building: science and education], 2017, v. 7, iss. 3 (24), pp. 19–35.
- [20] Isaev V.G., Seregin N.G., Grechanaya N.N. *Izmerenie deformatsiy konstruktivnykh elementov tekhnicheskikh sistem letatel'nykh apparatov volokonno-opticheskimi ustroystvami* [Measuring deformations of structural elements of aircraft technical systems by fiber-optic devices]. *Informatsionno-tekhnologicheskiiy vestnik* [Information and technological bulletin], 2018, no. 2 (16), pp. 14–24.

## Authors' information

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

**Seregin Nikolay Grigorievich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor, Moscow State Building University (NIU MGSU), seregin54@yandex.ru

**Grechanaya Natal'ya Nikolaevna** — engineer at the Scientific and Production Association of Measuring Technology, seregin54@yandex.ru

Received 13.08.2018.

Accepted for publication 01.10.2018.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЛИГНОУГЛЕВОДНОГО КОМПЛЕКСА ДРЕВЕСИННОГО ВЕЩЕСТВА

Б.М. Рыбин<sup>1</sup>, И.А. Завражнова<sup>1</sup>, Д.Б. Рыбин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

<sup>2</sup>ООО «Тимберланд», 141865, Московская обл., Дмитровский р-н, рабочий поселок Некрасовский, Северная ул., д. 10

rybin@mgul.ac.ru

Древесина — один из самых распространенных материалов, применяемых в промышленности и в быту. И в настоящее время древесина и материалы, полученные на ее основе, не утрачивают своего значения. При многочисленных положительных качествах древесные материалы обладают и некоторыми недостатками. Поэтому для прогнозирования свойств, при ручной обработке древесины и древесных материалов требуется знание физических и химических показателей, отражающих эти свойства. Ученые и практики во всем мире совершенствуют старые и разрабатывают новые методы изучения свойств как древесины различных пород, так и материалов, полученных на ее основе. Попытки прогнозировать свойства получаемых древесных продуктов приводят к необходимости исследовать древесинное вещество как химическую основу древесины. Указанные в литературных источниках значения различных физических показателей древесных пород только приближаются к истинным значениям физических показателей древесинного вещества. Предложена методика определения физических показателей древесинного вещества для изучения полимера растительного происхождения, являющегося основой древесины хвойных и лиственных пород. Входящие в состав древесины углерод, водород и кислород образуют сложные органические вещества: целлюлозу, гемицеллюлозы и лигнин. Каждое из этих веществ, представляет собой полимер, следовательно, древесинное вещество также является полимером естественного происхождения. Для его изучения можно применить принцип аддитивности, который позволяет установить наличие взаимосвязи между химическим строением и физическими характеристиками полимерных веществ. Используемая в исследованиях методика позволяет на первоначальном этапе определиться в химическом строении структурных звеньев целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. Затем, зная содержание перечисленных компонентов в древесинном веществе, а также их степень полимеризации и суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивные местные функции, можно рассчитать физические показатели: плотность, показатель преломления, поверхностное натяжение, когезию и относительную диэлектрическую проницаемость. Полученные значения перечисленных физических показателей хорошо согласуются с данными литературных источников. В большинстве случаев отклонения рассчитанных значений от приведенных в литературных источниках составляет не более 5...6%. Результаты полученных значений физических показателей отражают свойства древесинного вещества как химической основы древесины хвойных и лиственных пород. Значения физических показателей могут быть приняты за основу и рекомендованы для использования в фундаментальных исследованиях древесинного вещества как полимера природного происхождения.

**Ключевые слова:** физические показатели древесинного вещества

**Ссылка для цитирования:** Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. Определение физических показателей лигноуглеводного комплекса древесинного вещества // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-94-102

Древесина представляет собой один из самых распространенных материалов, применяемых в различных областях промышленности и в быту. На ранних стадиях развития человечества она служила топливом, позднее — строительным и поделочным материалом, а благодаря достижениям науки, техники и технологии из нее стали получать искусственные конструкционные и технологические материалы с необходимым комплексом свойств. И в настоящее время древесина и материалы, полученные на ее основе, не утрачивают своего значения. Использование древесины в различных областях промышленности объясняется сочетанием в ней ценных свойств. Так, древесина представляет собой прочный и одновременно мягкий материал, обладает хорошими теплоизоляционными свойствами, без разрушения поглощает ударные нагрузки, сни-

жает вибрацию. Древесина легко обрабатывается режущим инструментом, склеивается и подвергается отделке пленочными и жидкими лакокрасочными материалами при получении поверхностей с высокими декоративными качествами.

Помимо положительных свойств, древесина и материалы на ее основе обладают и некоторыми недостатками: неоднородностью строения, анизотропией, наличием пороков, способностью изменять размеры и форму в результате усыхания, разбухания и коробления и др. Для прогнозирования свойств с учетом данных недостатков, при ручной обработке древесины и древесных материалов требуется знание физических и химических показателей, отражающих эти свойства. Поэтому на протяжении всего срока использования древесного сырья ученые и практики во всем мире совершенствуют методики и разрабатывают но-

вые методы исследования свойств как древесины различных пород, так и материалов, получаемых на ее основе. Попытки прогнозировать свойства получаемых древесных продуктов приводят к необходимости изучения древесинного вещества как химической основы древесины. Исследования химических составляющих древесинного вещества по отдельности и в совокупности открывает возможности получения новых разнообразных материалов и позволяет корректировать свойства материалов, уже применяемых на практике.

**Цель работы**

Целью данной работы было определение физических показателей лигно-углеводного комплекса древесинного вещества исходя из его химического строения.

**Материалы и методы**

Древесина состоит из органических веществ, в состав которых входят углерод, водород, кислород и азот. В среднем можно считать, что абсолютно сухая древесина содержит 49,5 % углерода, 6,3 % водорода и 44,2 % кислорода с азотом [1].

Кроме органических веществ, в состав древесины входят минеральные вещества, которые при сгорании древесины дают золу. Количество золы в древесине колеблется в пределах 0,2...1,7 % и зависит от породы дерева.

Углерод, водород и кислород древесины образуют сложные органические вещества, часть которых входит в состав клеточных стенок, часть — в состав содержимого клеток. Клеточные стенки древесины состоят главным образом из целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. В полостях клеток содержатся дубильные вещества, красящие вещества, смолы, камеди, эфирные масла и алкалоиды. В табл. 1 по данным [2] приведено содержание разных компонентов лигноуглеводного комплекса древесинного вещества в хвойных и лиственных породах.

Целлюлоза относится к полисахаридам и имеет формулу  $(C_6H_{10}O_5)_n$ , где  $n$  — коэффициент полимеризации. Макромолекула целлюлозы состоит из множества звеньев глюкозных остатков [3]. Молекулярная масса структурного звена 162 г/моль. Средняя степень полимеризации природной древесной целлюлозы в хвойных и лиственных породах равна 4000–5500 (в дальнейших расчетах принято 5000) [4].

Гемицеллюлозы  $(C_{12}H_{20}O_{11})_n$  — группа полисахаридов, отличающихся от целлюлозы гидролизуемостью в кислотах и растворимостью в щелочах. Эта группа включает пентозаны и гексозаны, представляющие собой разновидности полисахаридов (маннаны, ксиланы, галактаны и др.). Многообразие таких связей между элементар-

Т а б л и ц а 1

**Компонентный состав лигноуглеводного комплекса древесинного вещества хвойных и лиственных пород**



**Component composition of the ligno-carbon complex substance of coniferous and deciduous species**

| Компонент     | Содержание в породах, % |            |
|---------------|-------------------------|------------|
|               | хвойных                 | лиственных |
| Целлюлозы     | 41–58                   | 39–47      |
| Гемицеллюлозы | 15–23                   | 23–38      |
| Лигнин        | 28–34                   | 17–27      |

Т а б л и ц а 2

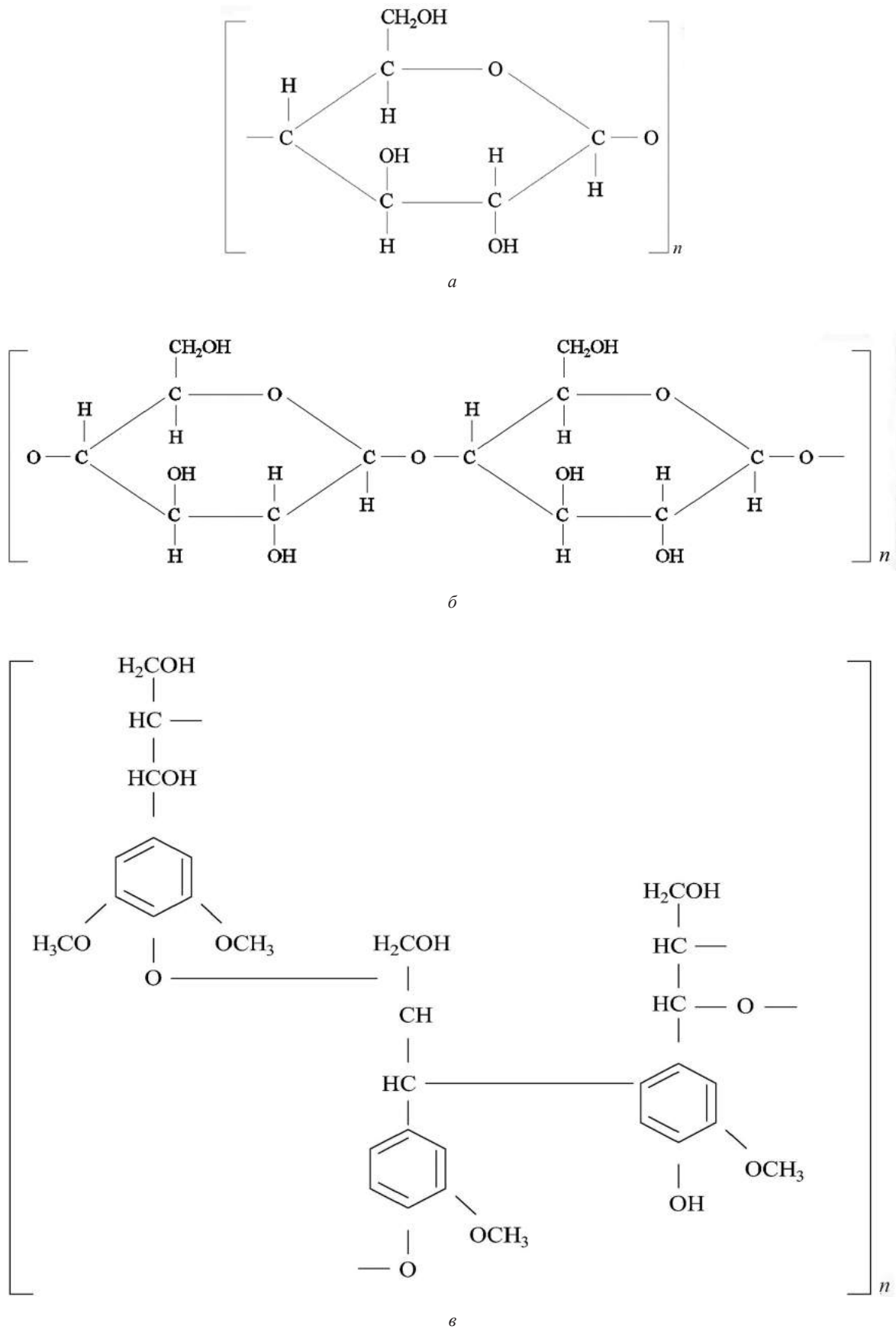
**Количество функциональных групп в структурных звеньях лигноуглеводного комплекса древесинного вещества**

**The number of functional groups in the structural units of ligno-carbon complex substance**

| Функциональная группа   | Количество функциональных групп в химических структурных звеньях |              |         |
|---|--|--------------|---------|
|   | целлюлозы  | гемицеллюлоз | лигнина |
| — CH <sub>2</sub> —   | 1  | 2            | 3       |
| — CH <sub>3</sub>   | —  | —            | 4       |
| — CH —  | 3  | 6            | 6       |
|  | —  | —            | 1       |
|  | —  | —            | 2       |
| — O —   | 2  | 5            | 7       |
| — OH —  | 1  | 2            | 5       |
| — CH(OH) —  | 2  | 4            | —       |

Примечание. — отсутствует.

ными звеньями является характерным отличием групп полисахаридов гемицеллюлоз. Наиболее широко распространена в гемицеллюлозах связь 1→4, которой соединены остатки моносахаридов, образующих главную цепь [4]. Молекулярная масса структурных звеньев 340 г/моль. Средняя степень полимеризации гемицеллюлоз в хвойных породах древесины равна 100, а в лиственных породах 150–200 (в дальнейших расчетах принято 175) [4].



Структурные формулы звеньев: *a* — целлюлозы; *б* — гемицеллюлоз; *в* — лигнина  
 Structural formulas of parts *a* — cellulose; *b* — hemicellulose; *c* — lignin



Лигнин ( $C_{31}H_{37}O_{12}$ )*n* представляет собой высокомолекулярное соединение ароматической природы (полифенол). Полагают, что лигнин придает гидрофобность растительным клеткам, а также прочность и жесткость древесинному веществу, играя роль связующего. Состав лигнина сложен, и ему приписывают различные эмпирические и структурные формулы. Для лигнина характерно наличие метоксильных групп. В 2010–2018 гг. благодаря химическим и физико-химическим исследованиям и анализу большого информационного массива построена модель лигнина [4]. Молекулярная масса ее структурных звеньев 601 г/моль. Средняя степень полимеризации в ней принята 94 (как для хвойных, так и для лиственных пород древесины).

На основании материалов работ [3, 4] составлены структурные формулы звеньев целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина (рисунок). Химическая структура представленных компонентов лигноуглеводного комплекса у хвойных и лиственных пород древесины практически одна и та же. Различия только в количественном содержании компонентов (см. табл. 1).

В табл. 2 приведены количественные характеристики функциональных групп в структурных звеньях лигноуглеводного комплекса древесинного вещества (в соответствии со структурными формулами, показанными на рисунке).

Для определения физических показателей древесинного вещества на основе целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в общем лигноуглеводном комплексе хвойных и лиственных пород применен принцип аддитивности. Суть его заключается в суммировании групповых вкладов химической структурной единицы целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина по справочным данным и последующем вычислении физических показателей по известным формулам [5].

Сначала надо определить значения суммарного вклада функциональных групп — структурных звеньев целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в аддитивные мольные функции: рефракцию, объем, парахор, константу притяжения и поляризацию. Затем выполнить расчет аддитивных мольных функций лигноуглеводного комплекса древесинного вещества с учетом степени полимеризации и процентного содержания компонентов (целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина) в хвойных и лиственных породах древесины. Численное значение *X* любой из перечисленных мольных функций (молекулярная масса, рефракция, объем, парахор, константа притяжения и поляризация) может быть определено по следующей формуле

$$X = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{\frac{P_1}{X_1 n_1} + \frac{P_2}{X_2 n_2} + \frac{P_3}{X_3 n_3}}, \quad (1)$$

где  $P_1, P_2, P_3$  — удельное содержание соответственно целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в лигноуглеводном комплексе древесинного вещества хвойных и лиственных пород (см. табл. 1);

$X_1, X_2, X_3$  — значения мольной функции от вклада химических структурных звеньев соответственно целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина;

$n_1, n_2, n_3$  — степень полимеризации соответственно целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина хвойных и лиственных пород.

Зная значение каждой аддитивной мольной функции лигноуглеводного комплекса древесинного вещества, можно рассчитать различные физико-механические показатели для хвойных и лиственных пород древесины.

Плотность  $q, г/см^3$ , можно рассчитать по формуле

$$q = \frac{M}{\sum_{i=1}^n V_i}, \quad (2)$$

где  $M$  — молекулярная масса структурного звена полимера, г/моль;

$\sum_{i=1}^n V_i$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивные мольные функции объема полимера,  $см^3/моль$ .

Для определения показателя преломления  $n$  можно воспользоваться выражением Лорентца-Лоренца [6]

$$n = \left( \frac{1 + 2 \frac{\sum_{i=1}^n R_{\pi i}}{\sum_{i=1}^n V_i}}{- \frac{\sum_{i=1}^n R_{\pi i}}{\sum_{i=1}^n V_i}} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

где  $\sum_{i=1}^n R_{\pi i}$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивные мольные функции рефракции полимера при длине волны света 589 Нм,  $см^3/моль$ .

Поверхностное натяжение полимера  $\gamma, эрг/см^2$ , можно рассчитать по формуле

$$\gamma = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \right)^4, \quad (4)$$

где  $\sum_{i=1}^n P_i$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную функцию паракора полимера,  $(\text{эрг}/\text{см}^2)^{1/4}(\text{см}^3/\text{моль})$ .

Паракор — эмпирическая константа органического вещества, определяемая его строением и не зависящая от температуры [7].

Когезию полимера  $E_{\text{ког}}$ , кал/моль, можно рассчитать по формуле

$$E_{\text{ког}} = \left( \frac{\sum_{i=1}^n F_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \right)^2, \quad (5)$$

где  $\sum_{i=1}^n F_i$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную константу притяжения полимера,  $(\text{кал} \cdot \text{см}^3)^{1/2}/\text{моль}$ .

Относительную диэлектрическую проницаемость  $\varepsilon$  можно определить из выражения

$$\varepsilon = \left( \frac{\sum_{i=1}^n P_{vi}}{M} \right)^2, \quad (6)$$

где  $\sum_{i=1}^n P_{vi}$  — суммарный вклад функциональных групп структурных звеньев в аддитивную мольную поляризацию полимера, г/моль.

## Результаты и обсуждение

В табл. 3 приведены численные значения вклада химических структурных звеньев целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в различные мольные функции, а также их суммарной итог. Полученные итоговые значения позволяют рассчитать значения мольных функций с учетом составляющих лигноуглеводного комплекса древесинного вещества для хвойных и лиственных пород древесины. Значения мольных функций молекулярной массы, рефракции, объема, константы притяжения и поляризации для древесинного вещества определяли в совокупности составляющих лигноуглеводного комплекса целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина. При расчете использовали формулу (1) и данные табл. 1 и 3, а также значение степени полимеризации составляющих компонентов лигноуглеводного комплекса при образовании древесинного вещества в хвойных и лиственных породах древесины. Процентное содержание целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина как в хвойных, так и в лиственных породах древесины изменялось в пределах значений, приведенных в табл. 1. Это позволило получить для каждой мольной функции 14 показателей.

Для трех факторов, отражающих удельное содержание целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина, из интервалов значений (см. табл. 1) выбирали максимальное, минимальное и среднее значения. Такой выбор диапазонов варьирования факторов позволил выполнить расчеты с учетом всех возможных вариантов. Это относилось как к хвойным породам древесины, так и к лиственным.

Затем с учетом полученных данных мольных функций древесинного вещества по формулам (2)–(6) были рассчитаны физические показатели (плотность, показатель преломления, поверхностное натяжение, когезия и относительная диэлектрическая проницаемость) как для хвойных, так и для лиственных пород древесины. Полученные результаты свидетельствуют о малой изменчивости физических показателей древесинного вещества хвойных и лиственных пород древесины. В хвойных и лиственных породах древесины не наблюдается изменений древесинного вещества, характеризуемых физическими показателями, при изменении содержания химических компонентов лигноуглеводного комплекса. Дальнейшая обработка полученных результатов подтвердила этот вывод.

Объединенная выборка для каждого физического показателя составила 28 значений. Статистическая обработка полученных результатов для каждого физического показателя включала определение среднего значения, отбраковывание грубых значений и оценку окончательного результата при получении коэффициента вариации и показателя точности среднего значения.

Статистические значения вычисленных физических показателей лигноуглеводного комплекса древесинного вещества приведены в табл. 4. По каждому показателю даны предельные значения в выборке из 28. Статистические показатели (коэффициент вариации и показатель точности) составляют менее 1,5 %. Исключением является коэффициент вариации по когезии (3,53 %). Низкие значения статистических показателей свидетельствуют о незначительных отклонениях в выборках из 28 значений по каждому вычисленному физическому показателю. Указанные средние значения в каждом случае надежно отражают физический показатель древесинного вещества.

В табл. 5 приведены сравнительные данные физических показателей, взятых из литературных источников и рассчитанных по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев составляющих лигноуглеводного комплекса древесинного вещества. Для каждого физического показателя вычислена относительная ошибка по минимальным и максимальным значениям. Практически она показывает отклонение показателя при сравнении минимальных и максимальных значений, полученных путем

Т а б л и ц а 3

**Вклад химических структурных звеньев лигноуглеводного комплекса  
древесинного вещества в различные аддитивные молярные функции**

**The contribution of the chemical units of a ligno-carbohydrate complex substance  
in different additive molar functions**

| Аддитивная молярная функция |  | Лигноуглеводный комплекс | Вклад функциональных групп химических структурных звеньев |                  |        |   |   |        |         |          |         |
|-----------------------------|--|--------------------------|---|------------------|--------|---|---|--------|---------|----------|---------|
|                             |  |                          | по видам  |                  |        |   |   |        |         |          | Итого   |
| Название                    | Обозначение, единицы измерения   |                          | —CH <sub>2</sub> —  | —CH <sub>3</sub> | —CH—   |  |  | —O—    | —OH—    | —CH(OH)— |         |
| Рефракция                   | $R_{лв}$<br>см <sup>3</sup> /моль                                      | Ц                        | 4,65  | —                | 10,86  | —   | —   | 3,28   | 2,45    | 12,14    | 33,38   |
|                             |  | Г                        | 9,30  | —                | 21,72  | —   | —   | 8,20   | 4,90    | 24,28    | 68,40   |
|                             |  | Л                        | 13,95   | 22,56            | 21,72  | 23,80   | 48,80   | 11,48  | 12,25   | —        | 154,56  |
| Объем                       | $V_{лв}$<br>см <sup>3</sup> /моль                                      | Ц                        | 15,85   | —                | 28,35  | —   | —   | 20,00  | 9,70    | 38,30    | 112,20  |
|                             |  | Г                        | 31,70   | —                | 56,70  | —   | —   | 50,00  | 19,40   | 76,60    | 234,40  |
|                             |  | Л                        | 47,55   | 95,60            | 56,70  | 56,30   | 119,00  | 70,00  | 48,50   | —        | 493,65  |
| Парахор                     | $P_{лв}$ (эрг/см <sup>2</sup> ) <sup>1/4</sup> (см <sup>3</sup> /моль) | Ц                        | 39,00   | —                | 65,70  | —   | —   | 40,00  | 37,10   | 118,00   | 299,80  |
|                             |  | Г                        | 78,00   | —                | 131,40 | —   | —   | 100,00 | 74,20   | 236,00   | 619,60  |
|                             |  | Л                        | 117,00  | 224,00           | 131,40 | 138,70  | 311,60  | 140,00 | 185,50  | —        | 1248,60 |
| Константа притяжения        | $F_{лв}$ (кал · см <sup>3</sup> ) <sup>1/2</sup> /моль                 | Ц                        | 133,00  | —                | 84,00  | —   | —   | 140,00 | 225,80  | 977,60   | 1560,40 |
|                             |  | Г                        | 266,00  | —                | 168,00 | —   | —   | 350,00 | 451,60  | 1955,20  | 3190,80 |
|                             |  | Л                        | 399,00  | 856,00           | 168,00 | 480,00  | 1160,00   | 490,00 | 1129,00 | —        | 4682,00 |
| Поляризация                 | $P_{лв}$<br>г/моль   | Ц                        | 20,64   | —                | 70,50  | —   | —   | 60,00  | 30,00   | 107,00   | 288,14  |
|                             |  | Г                        | 41,28   | —                | 141,00 | —   | —   | 150,00 | 60,00   | 214,00   | 606,28  |
|                             |  | Л                        | 61,92   | 70,64            | 141,00 | 128,60  | 257,20  | 210,00 | 150,00  | —        | 1019,36 |

Примечание. Ц — целлюлоза; Г — гемицеллюлозы; Л — лигнин; — отсутствует.

Т а б л и ц а 4

**Статистические значения вычисленных физических показателей  
лигноуглеводного комплекса древесинного вещества**

**The statistical values of the calculated physical characteristics of ligno-carbohydrate complex substance**

| Название   | Физический показатель |                               |                  |   | Статистический показатель |  |
|--|-----------------------|-------------------------------|------------------|---|---------------------------|--|
|  | Единицы измерения     | Предельные значения в выборке | Средние значения | Среднее квадратическое отклонение выборки | Коэффициент вариации, %   | Показатель точности среднего значения, % |
| Плотность, $\rho$                                      | кг/м <sup>3</sup>     | 1324...1366                   | 1342             | 13,25                                     | 0,98                      | 0,21                                     |
| Показатель преломления $n$                             | —                     | 1,506...1,516                 | 1,512            | 0,0032                                    | 0,21                      | 0,04                                     |
| Поверхностное натяжение $\gamma$                       | мДж/м <sup>2</sup>    | 45...47                       | 45,5             | 0,64                                      | 1,4                       | 0,26                                     |
| Когезия $E_{ког}$                                      | МДж/м <sup>3</sup>    | 521...578                     | 551              | 19,49                                     | 3,53                      | 0,73                                     |
| Относительная диэлектрическая проницаемость $\epsilon$ | —                     | 3,005...3,052                 | 3,031            | 0,0229                                    | 0,75                      | 0,17                                     |

расчета и приведенных в литературных источниках. В большинстве случаев отклонение составляет не более 5...6 %. Исключением являются только относительные ошибки по плотности и когезии, равные соответственно 14,93 и 14,25 %.

Значения физических показателей, приведенные в литературных источниках, практически все получены косвенными методами. Так, при определении плотности древесинного вещества применяют способ, основанный на измерении

Т а б л и ц а 5

**Сравнительные данные табличных значений физических показателей древесинного вещества и значений, рассчитанных по аддитивным функциям групповых вкладов химических структурных звеньев лигноуглеводного комплекса**

**Comparative data table of physical indicators values of substance and designed for additive functions group contributions chemical structural units of ligno-carbohydrate complex**

| Физический показатель                       |                    |  |              | Относительная ошибка по значениям, % |              |
|---|--------------------|--|--------------|--------------------------------------|--------------|
| Название                                    | Единицы измерения  | Значение   |              | Минимальным                          | Максимальным |
|   |                    | Из литературного источника                         | Рассчитанное |                                      |              |
| Плотность                                   | кг/м <sup>3</sup>  | 1490–1570 [1]<br>1499–1564 [2]<br>1440–1460 [8, 9] | 1324–1366    | 8,76                                 | 14,93        |
| Показатель преломления                      | –                  | 1,537...1,565 [10]                                 | 1,506–1,516  | 2,05                                 | 3,23         |
| Поверхностное натяжение                     | мДж/м <sup>2</sup> | 44–50 (дугласова пихта) [11]                       | 45–47        | 2,27                                 | 6,38         |
| Когезия                                     | МДж/м <sup>3</sup> | 456–547 [12]                                       | 521–578      | 14,25                                | 5,66         |
| Относительная диэлектрическая проницаемость | –                  | 3,06–3,18 [2]                                      | 3,005–3,052  | 1,83                                 | 4,19         |

объема вытесненной образцом жидкости или газа [8]. Точность определения объема древесинного вещества, содержащегося в образце, зависит от возможности проникновения жидкости или газа в пустоты древесины. Приведенные в табл. 5 значения плотности из литературных источников очень разнятся. Общие предельные значения составляют 1440...1570 кг/м<sup>3</sup>. Их расхождение со значениями, рассчитанными по предлагаемой методике, объясняется использованием различных веществ (жидкость, газ) при определении плотности древесины.

Показатель преломления по литературному источнику [10] определяется с использованием иммерсионного способа. Суть его заключается в сравнении и подборе жидкости с известным показателем преломления, приближающимся к показателю преломления древесины. Иногда требуется отыскание двух жидкостей, у одной из которых показатель преломления больше, а у другой меньше, чем у древесины. При таком определении показателя преломления невозможно выявить непосредственно древесинное вещество. Измерение осуществляется на пробах анатомических элементов различных пород древесины (поздняя и ранняя зона древесины, сердцевинные лучи и т. д.). Приведенные значения показателя преломления относятся к этим элементам, но не к древесинному веществу.

Методика определения поверхностного натяжения твердого тела предусматривает использование жидкостей одного гомологического ряда [11]. За меру поверхностного натяжения твердого тела древесины принимают значение поверхностного натяжения той жидкости, которая давала

бы в контакте с данным телом угол смачивания, равный нулю. Приведенное значение поверхностного натяжения из литературного источника [11] относится к дугласовой пихте. Такой способ измерения считается самими исследователями недостаточно надежным. Применительно к древесине здесь не учитывается микрогеометрия исследуемой поверхности, а также ее химическая чистота, поскольку помимо целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в каждой конкретной породе имеются минеральные и другие вещества, которые значительно влияют на смачивание и растекание эталонных жидкостей.

Для значений когезии, приведенных в литературном источнике [12], предполагается, что между когезией и критическим поверхностным натяжением имеется корреляционная линейная связь. Так, для дугласовой пихты поверхностное натяжение равно 44...50 мДж/м<sup>2</sup>, когезия — 456...547 МДж/м<sup>3</sup>. Выше говорилось о недостатках метода определения величины поверхностного натяжения. Следовательно, точность значений когезии для древесины подвергается некоторому сомнению, а приведенные численные значения не отражают когезии древесинного вещества.

Методика определения относительной диэлектрической проницаемости древесины до настоящего времени не стандартизована [8]. Один из вариантов предусматривает определение потерь электрической энергии при протекании электрического тока через образцы различных пород древесины. При этом должны учитываться различные факторы: порода древесины, направление волокон, влажность, плотность и т. д. Поэтому



приведенные значения относительной диэлектрической проницаемости из литературного источника [2] представляют средние статистические данные различных пород древесины и не отражают характеристику древесинного вещества по этому показателю.

## Выводы

В представленной методике расчета значений физических показателей древесинного вещества учитываются непосредственно физико-химические свойства целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина в лигноуглеводном комплексе. Кроме того, учитывается их содержание и характер полимеризации при образовании сложного полимера естественного происхождения. Поэтому вычисленные значения физических показателей (плотность, показатель преломления, поверхностное натяжение, когезия и относительная диэлектрическая проницаемость) являются достоверными и надежно отражающими различные свойства древесинного вещества.

Краткий анализ данных по физическим показателям, приведенным в литературных источниках, позволяет сделать вывод о том, что результаты полученных значений различных физических показателей, рассчитанных по предлагаемой методике, отражают свойства древесинного вещества как химической основы древесины хвойных и лиственных пород. Значения физических показателей могут быть приняты за основу и рекомендованы для использования в фундаментальных исследованиях древесинного вещества как полимера природного происхождения.

*Статья публикуется по результатам международной научно-практической конференции «Экологические аспекты использования древесины как природного возобновляемого ресурса», состоявшейся 27–29 сентября 2017 г. в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал).*

## Список литературы

- [1] Ванин С.И. Древесиноведение: учебник для вузов. Л.: Гослестехиздат, 1940. 459 с.
- [2] Перельгин Л.М. Древесиноведение. М.: Лесная промышленность, 1969. 320 с.
- [3] Азаров В.И., Кононов Г.Н. Химия древесины и синтетических полимеров. М.: МГУЛ, 2011. 368 с.
- [4] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. М.: МГУЛ, 1999. 247 с.
- [5] Ван Кревелен Д.В. Свойства и химическое строение полимеров / пер. с англ. Ф.Ф. Ходжевановой; под ред. А.Я. Малкина. М.: Химия, 1976. 416 с.
- [6] Берн М., Вольф Э. Основы оптики / пер. с англ. С.Н. Бреуса, А.И. Головашкина, А.А. Шубина; под ред. Г.Н. Мотулевич. М.: Наука, 1973. 719 с.
- [7] Степин Б.Д. Применение международной системы единиц физических величин в химии. М.: Высшая школа, 1990. 96 с.
- [8] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения. М.: Лесная промышленность, 1986. 368 с.
- [9] Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.
- [10] Рыбин Б.М. Технология и оборудование защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. М.: МГУЛ, 2007. 568 с.
- [11] Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. М.: Химия, 1969. 320 с.
- [12] Берлин А.А., Басин В.Е. Основы адгезии полимеров. Изд. 2, доп. М.: Химия, 1974. 392 с.

## Сведения об авторах

**Рыбин Борис Матвеевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), rybin@mgul.ac.ru

**Завражнова Ирина Анатольевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), zavrazhnova@mgul.ac.ru

**Рыбин Дмитрий Борисович** — технолог ООО «Тимберланд», wood@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.05.2018.

Принята к публикации 04.09.2018.

## DETERMINATION OF PHYSICAL PARAMETERS OF LIGNO-CARBON WOOD SUBSTANCE COMPLEX

B.M. Rybin<sup>1</sup>, I.A. Zavrazhnova<sup>1</sup>, D.B. Rybin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institut'skaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>«Timberland», 10, Severnaya st., Dmitrovsky district, working settlement Nekrasovsky, 141865, Moscow reg., Russia

rybin@mgul.ac.ru

Wood is one of the most common materials used in industry and in everyday life. In the early stages of development and currently wood and materials obtained on its basis do not lose their value. Possessing a number of useful properties wood products have some disadvantages. Therefore to predict the properties at manual processing of wood and wood materials requires knowledge of their physical and chemical parameters that reflect these properties. Scientists and people on the ground around the world are improving methods and developing new methods of studying the properties of wood of various species and obtained materials. Attempts to predict many properties of the resulting wood products lead to the conclusion of the study substance as the chemical basis of wood. The values of various physical indicators of tree species presented in the literature only approximate the true values of the physical indicators of the timber substance. Method of determining physical parameters substance is the first to study polymer of plant origin, which is the basis of wood of coniferous and deciduous species. The wood carbon, hydrogen and oxygen form complex organic substances, i.e. cellulose, hemicellulose and lignin. Each of these substances is a polymer. Hence, in total, the wood material is also a polymer of natural origin. To study it you can apply the principle of additivity which allows to establish the relationship between the chemical structure and the physical characteristics of polymeric substances. The methodology used in the research allows the initial phase to determine the chemical structure of the structural units of cellulose, hemicellulose and lignin. Then knowing the contents of these components in the wood substance as well as their degree of polymerization and the total contribution of functional groups structural units in additive local functions there can be calculated physical parameters: density, refractive index, surface tension, cohesion and relative permittivity. The obtained values for these physical parameters are in good cohesion with data from literature. In most cases the deviation of calculated values given in literature sources is not more than 5...6 %. The results of the obtained values of physical indicators reflect the properties of the wood substance as a chemical basis of coniferous and deciduous species. The values of the physical parameters can be taken as a basis and recommended for use in fundamental research substance as a polymer of natural origin.

**Keywords:** physical parameters of wood substance

**Suggested citation:** Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B. *Opreделение fizicheskikh pokazateley lingouglevodnogo kompleksa drevesinnogo veshchestva* [Determination of physical parameters of ligno-carbon wood substance complex]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 94–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-94-102

### References

- [1] Vanin S.I. *Drevesinovedenie* [Wood Science]. Leningrad: Goslestekhizdat, 1940, 459 p.
- [2] Perelygin L.M. *Drevesinovedenie* [Wood Science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forestry Industry], 1969, 320 p.
- [3] Azarov V.I., Kononov G.N. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers]. Moscow: MGUL, 2011, 368 p.
- [4] Kononov G.N. *Khimiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov* [Chemistry of wood and its main components]. Moscow: MGUL, 1999, 247 p.
- [5] Van Krevelen D.V. *Svoystva i khimicheskoe stroenie polimerov* [Properties and chemical structure of polymers]. Translation from English by F.F. Hodzhevanovf; ed. A.Ya. Malkin. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1976, 416 p.
- [6] Bern M., Vol'f E. *Osnovy optiki* [Fundamentals of Optics]. Translation from English by S.N. Breus, A.I. Golovashkin, A.A. Shubin; Ed. G.N. Motulevich. Moscow: Nauka, 1973, 719 p.
- [7] Stepin B.D. *Primenenie mezhdunarodnoy sistemy edinits fizicheskikh velichin v khimii* [Application of the international system of units of physical quantities in chemistry]. Moscow: Vysshaya shkola, 1990, 96 p.
- [8] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forestry Industry], 1986, 368 p.
- [9] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie i lesnoe tovarovedenie* [Wood Science and Forest Commodity Science]. Moscow: MGUL, 2007, 351 p.
- [10] Rybin B.M. *Tekhnologiya i oborudovanie zashchitno-dekorativnykh pokrytiy drevesiny i drevesnykh materialov* [Technology and equipment of protective and decorative coatings of wood and wood materials]. Moscow: MGUL, 2007, 568 p.
- [11] Berlin A.A., Basin V.E. *Osnovy adgezii polimerov* [Fundamentals of polymer adhesion]. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1969, 320 p.
- [12] Berlin A.A., Basin V.E. *Osnovy adgezii polimerov* [Fundamentals of polymer adhesion]. 2nd edition, supplemented. Moscow: Khimiya [Chemistry], 1974. 392 p.

### Authors' information

**Rybin Boris Matveevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), rybin@mgul.ac.ru

**Zavrazhnova Irina Anatol'evna** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), zavrazhnova@mrul.ac.ru

**Rybin Dmitriy Borisovich** — Technologist of «Timberland», wood@yandex.ru

Received 28.05.2018.

Accepted for publication 04.09.2018.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ КАРБАМИДОФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ КЛЕЕВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФАНЕРЫ

А.Н. Чубинский, Д.С. Русаков, Г.С. Варанкина, Л.Н. Русакова

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, 194021, г. Санкт-Петербург, Институтский пер., д. 5  
a.n.chubinsky@gmail.com

Для склеивания шпона и древесных частиц используют как карбаминоформальдегидные, так и фенолоформальдегидные и совмещенные карбамино- и фенолоформальдегидные клеи горячего отверждения. Когда необходимо получить низкое содержание токсичных веществ, повысить прочность, надежность склеивания, тепло- и морозостойкость, водо- и атмосферостойкость древесных материалов, карбамино- и фенолоформальдегидные смолы модифицируют. В исследовании применяли карбаминоформальдегидную смолу марки КФ-МТ-15, в которую вводили различные модификаторы: лигносульфонаты технические с размерами частиц 0,01...0,2 мм, шунгиты с размерами частиц 0,2...0,8 мм, черные сланцы с размерами частиц 0,005...0,2 мм, алюмосиликаты с размерами частиц 0,2...0,8 мм. Сравнительный анализ выявил, что ни один из исследуемых модификаторов не ухудшает физико-химические свойства карбаминоформальдегидных смол и повышает эксплуатационные свойства клеевых соединений. Для обоснования режимов склеивания и увеличения прочности готовой продукции проведены многофакторные эксперименты по склеиванию фанеры. Склеивание проводили в условиях действующего фанерного производства в соответствии с принятым на предприятии технологическим регламентом. Склеенную фанеру испытывали на прочность при скалывании по клеевому слою. Для обоснования снижения содержания свободного формальдегида в готовой продукции проведен многофакторный эксперимент по склеиванию фанеры. Фанеру испытывали на содержание свободного формальдегида в готовой продукции. Введение в клеящие составы на основе карбаминоформальдегидных смол продуктов сульфитно-целлюлозного производства позволяет улучшить технологические свойства клеев, а именно ускорить процесс отверждения клея и увеличить прочность клеевого соединения в готовой продукции. Ускорение процесса отверждения модифицированной лигносульфонатами карбаминоформальдегидной смолы происходит за счет «кислой природы» лигносульфонатов ( $\text{pH} < 4$ ), что способствует взаимодействию лигносульфонатов с формальдегидом на стадии кислой конденсации в процессе варки карбаминоформальдегидной смолы. Технические лигносульфонаты благодаря своим клеящим свойствам и поверхностной активностью обладают способностью к повышению прочности клеевого соединения в готовой продукции за счет химического взаимодействия лигносульфонатов с формальдегидом вследствие сетчатой структуры и образования новых углерод–углеродных связей. Введение в карбаминоформальдегидные смолы предлагаемых модификаторов повышает прочность фанеры, при этом снижается содержание свободного формальдегида в готовой продукции.

**Ключевые слова:** склеивание шпона, модификация, карбаминоформальдегидная смола, лигносульфонаты, шунгиты, черные сланцы, алюмосиликаты

**Ссылка для цитирования:** Чубинский А.Н., Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Русакова Л.Н. Исследование свойств модифицированных карбаминоформальдегидных клеев для изготовления фанеры // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-103-112

В деревоперерабатывающей отрасли широко применяют различные клеевые материалы, которые изготавливают на основе синтетических клеящих веществ. Для склеивания шпона и древесных частиц используют как карбаминоформальдегидные, так и фенолоформальдегидные и совмещенные карбамино- и фенолоформальдегидные клеи горячего отверждения, совершенствованию которых посвящено большое число работ [1–17].

Когда необходимо получить низкое содержание токсичных веществ, повысить прочность, надежность склеивания, тепло- и морозостойкость, водо- и атмосферостойкость древесных материалов, карбамино- и фенолоформальдегидные смолы модифицируют. Под модифицированием понимают целенаправленное изменение структуры

и состава полимера, в том числе путем введения в его состав химических добавок с целью улучшения технологических или эксплуатационных свойств.

### Цель работы

Цель работы — повышение прочности фанеры при одновременном снижении содержания свободного формальдегида в готовой продукции за счет введения в карбаминоформальдегидные смолы модификаторов.

### Материалы и методы исследования

В исследовании применяли карбаминоформальдегидную смолу марки КФ-МТ-15, в которую вводили различные модификаторы: лигносульфонаты технические с размерами частиц

Т а б л и ц а 1

**Модификаторы и их химический состав  
(элементы и химические соединения, %)  
Chemical composition of modifiers**

| Технические лигносульфонаты |                  |                                |                                |           |           |                   |                  |           |                                |                  |
|-----------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|-------------------|------------------|-----------|--------------------------------|------------------|
| C                           | O                | S                              | Na                             | Ca        | K         | Mg                | Прочие           |           |                                |                  |
| 33,9                        | 46,8             | 9,5                            | 5,7                            | –         | 0,18      | 0,80              | 3,12             |           |                                |                  |
| Шунгиты                     |                  |                                |                                |           |           |                   |                  |           |                                |                  |
| SiO <sub>2</sub>            | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO       | MgO       | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | C         | Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |                  |
| 54,5–64,81                  | 0,02–0,22        | 0,79–2,04                      | 4,62–5,00                      | 0,28–1,50 | 0,64–0,66 | 4,28–4,80         | 1,15–1,84        | 21,8–31,0 | 0,02–0,03                      |                  |
| Черные сланцы               |                  |                                |                                |           |           |                   |                  |           |                                |                  |
| SiO <sub>2</sub>            | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO       | MgO       | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | FeO       | SO <sub>3</sub>                | C <sub>орг</sub> |
| 36,32                       | 0,39             | 4,93                           | 3,25                           | 29,51     | 3,60      | 4,44              | 0,81             | 0,25      | 0,03                           | 0,97             |
| Алюмосиликаты               |                  |                                |                                |           |           |                   |                  |           |                                |                  |
| SiO <sub>2</sub>            | TiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | CaO       | MgO       | Na <sub>2</sub> O | K <sub>2</sub> O | FeO       |                                |                  |
| 47,5–51,5                   | 9,3–12,9         | 9,3–12,9                       | 13,4–31,8                      | 9,9–13,5  | 9,9–13,5  | 2,1–3,2           | 2,1–3,2          | 9,3–12,9  |                                |                  |

0,01...0,2 мм, шунгиты с размерами частиц 0,2...0,8 мм, черные сланцы с размерами частиц 0,005...0,2 мм, алюмосиликаты с размерами частиц 0,2...0,8 мм. Химический состав этих продуктов представлен в табл. 1.

Рассмотрим данные модификаторы по порядку.

Широкое применение в промышленности водорастворимых производных лигнина — *лигносульфонатов* (ЛСТ) — связано с ценными коллоидно-химическими свойствами этих полиэлектролитов, в частности с их поверхностной активностью. Макромолекула ЛСТ образует нелинейную структуру, приближающуюся к глобулярным полимерам.

Особенностью подобных структур является их компактность и гибкость даже при большой молекулярной массе и относительно низкое содержание связанной воды. В этой макромолекуле частицы лигносульфонатов разной степени дисперсности связаны друг с другом поперечными связями, главной из которых является C<sub>β</sub>-O-C<sub>α</sub> связь; кроме того, возможно наличие водородных связей. Чем выше молекулярная масса этих частиц, тем в большей мере возникает потенциальная возможность образования после соответствующей модификации трехмерной структуры [4]. Вязкость растворов таких полимеров при высокой степени концентрирования остается значительно меньше вязкости растворов природных линейных полимеров, например целлюлозы. Внутри макромолекулы находятся ионизированные сульфогруппы, придающие ей отрицательный заряд, уравновешенный при pH = 7 окружающим облаком положительно заряженных катионов.

В ходе сульфитных варочных процессов происходит разрыв лабильных α-эфирных связей и замещение бензилспиртовых гидроксильных

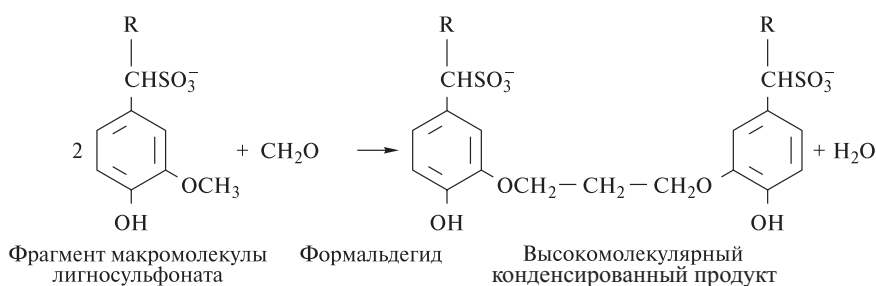
групп на сильнополярные сульфоновокислотные группы. Одновременно появляются новые углерод–углеродные связи. По химической природе промышленные лигносульфонаты — анионные водорастворимые полимеры с широким диапазоном значений молекулярной массы (2000–100 000) [4, 11].

Действие лигносульфонатов сульфитного щелока и сульфитно-дрожжевой бражки вызвано взаимодействием лигносульфонатов в процессе концентрирования при температуре свыше 100 °С с присутствующими в сульфитно-дрожжевой бражке аминокислотами и олигомерами белковой природы. Образующиеся продукты конденсации остаются растворимыми и обладают повышенной поверхностной активностью. Известно о наличии поверхностно-активных свойств у лигносульфонатов, однако исследования коллоидно-химических свойств этих веществ практически отсутствуют.

У коллоидных поверхностно-активных веществ растворение происходит иначе, чем у всех прочих веществ: после достижения предела растворимости они не выделяются в виде осадка или жидкости, а образуют в растворителе конгломераты, называемые мицеллами. Мицеллы, как и всякая частица, характеризуются несколькими параметрами: размером, формой, концентрацией раствора, при которой они образуются (критическая концентрация мицеллообразования — ККМ), а также термодинамическими функциями, которые рассчитывают исходя из значений ККМ. Естественно, что поверхностная активность вещества зависит от его строения и физико-химических свойств.

Лигносульфонаты натрия (ЛСТNa) представляют собой анионоактивный полимер, содержащий метоксильные, фенольные, гидроксильные,





**Рис. 1.** Реакция формальдегида со структурной единицей лигносульфоната  
**Fig. 1.** Reaction of formaldehyde with the structural unit of lignosulfonate

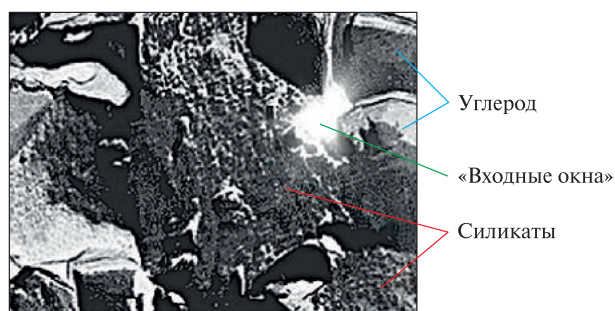
карбонильные, карбоксильные группы и сульфогруппы в натриевой форме. При этом лигносульфонат натрия является высокомолекулярным веществом с характерными кислотными свойствами. При повышении концентрации ЛСТNa до значения свыше 15 г/л наблюдается установление постоянных значений рН.

Поверхностное натяжение водных растворов ЛСТNa снижается по мере увеличения концентрации реагента в растворе. Значительное влияние на поверхностное натяжение и ККМ водных растворов ЛСТNa оказывает присутствие NaOH в растворе. Уже при концентрации NaOH = 0,1 г/л в водном растворе лигносульфонатов натрия происходит резкое снижение поверхностного натяжения.

Нейтрализация функциональных групп кислотного типа лигносульфонатов с помощью NaOH происходит за счет ионного обмена, в частности, на катионы Na<sup>+</sup> не только в макромолекулах сульфированного лигнина, но и между моно- и полисахаридами, а также между другими органическими соединениями, входящими в состав лигносульфонатов [4]. Реакция формальдегида со структурной единицей лигносульфоната представлена на рис. 1.

*Шунгит* — углеродистое вещество темно-серого цвета, обладающее значительной пористостью (рис. 2). Вследствие уникальности структуры и состава, эта порода обладает сорбционными, каталитическими, бактерицидными свойствами, биологической активностью, способностью поглощать и нейтрализовать электромагнитное излучение высоких частот.

Шунгиты различаются по основе (алюмосиликатные, кремнистые, карбонатные) и по количеству шунгитового углерода. Кристаллы тонкомолотого шунгита обладают выраженными биполярными свойствами: они имеют высокий уровень адгезии и смешиваются практически со всеми веществами. Это объясняется наноструктурой и составом образующих данное вещество элементов — углерод равномерно распределен в



**Рис. 2.** Структура шунгитовой породы (увеличено в 500 000 раз) [8]

**Fig. 2.** The structure of the shungite rock (an increase of 500 000 times) [8]

каркасе из мелкодисперсных кристаллов кварца размером 1...10 мкм [8]. Высокая степень обогащения шунгитов углекислотой обеспечивает кислую среду (как правило, рН < 6,5) [2].

Шунгиты обладают избирательными сорбционными свойствами [1, 2]. Избирательность их действия обусловлена тем, что через «входные окна» во внутренние полости таких сорбентов могут свободно проходить только молекулы углеводородов. Этот ситовый эффект объясняется тем, что критические диаметры у молекул углеводородов различных классов разные. Шунгиты являются молекулярными ситами и могут использоваться для разделения веществ на молекулярном уровне. Чтобы проникнуть в адсорбционную полость, критический диаметр молекул адсорбируемого вещества должен быть меньше или равен размеру «входных окон» шунгита. Шунгиты имеют достаточно широкие «входные окна» и адсорбируют большинство компонентов сложных смесей, в том числе все типы углеводородов. Смешение шунгитовых сорбентов со смолой приводит к снижению поверхностной пористости шунгита.

*Черные сланцы* являются эффективным реакционно-способным модификатором, обладающим способностью ускорять процесс отверждения феноло- и карбамидоформальдегидных клеев [3, 4].

Т а б л и ц а 2

**Свойства карбамидоформальдегидного клея на основе смолы КФ-МТ-15**  
**Properties of carbamide-formaldehyde glue based on KF-MT-15 resin**

| Модификатор                         | Массовое содержание модификатора, % | Массовая доля сухого остатка, % | Условная вязкость клея через 1 час после изготовления, с | Продолжительность желатинизации при 100 °С, с |
|-------------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|--|---|
| Без модификатора (по ГОСТ 14231–88) | 0                                   | 67,0                            | 60   | 65  |
| Лигносальфонаты                     | 5,0–15,0                            | 72,0                            | 70–75  | 42–55   |
| Шунгиты                             | 2,5–15,0                            | 73,8                            | 49–85  | 38–55   |
| Черные сланцы                       | 5,0–10,0                            | 70,0                            | 65–85  | 62  |
| Алюмосиликаты                       | 2,5–15,0                            | 71,4                            | 49–101   | 38–58   |

*Алюмосиликаты* — природные и синтетические силикаты, содержащие в составе сложных анионов атомы алюминия и кремния. Введение в смолу алюмосиликатов позволяет: улучшить физико-химические, технологические, эксплуатационные свойства клея; сократить расход клея и снизить себестоимость готовой продукции; влиять на вязкость клея; уменьшить глубину проникновения и величину усадки клея; предотвратить просачивание клея на наружные поверхности листов шпона; повысить прочность клеевого соединения [3, 4].

В процессе исследований определению подлежали массовая доля сухого остатка, условная вязкость клея через 1 ч после введения модификатора, продолжительность желатинизации при 100 °С и эмиссия формальдегида.

Для исследования химического состава и процесса отверждения модифицированного карбамидоформальдегидного клея использовали спектрофотометр Spесord 30.

Качество фанеры оценивали, определяя содержание свободного формальдегида в готовой продукции перфораторным методом по ГОСТ 27678–2014 «Плиты древесные и фанера. Перфораторный метод определения содержания формальдегида», физико-механические свойства фанеры оценивали по показателю прочности клеевого соединения при скалывании по клеевому слою после вымачивания образцов в воде 24 ч, испытания проводили в соответствии с ГОСТ 9624–2009 «Древесина слоистая клеевая. Метод определения предела прочности при скалывании».

## Результаты и обсуждение

Результаты экспериментальных исследований показывают, что все используемые модификаторы позволяют снизить продолжительность желатинизации клея (табл. 2).

Сравнительный анализ выявил также, что ни один из исследуемых модификаторов не ухудшает физико-химических свойств карбамидоформаль-

дегидных смол и при этом повышает эксплуатационные свойства клеевых соединений.

Для обоснования режимов склеивания и увеличения прочности готовой продукции проведены многофакторные эксперименты по склеиванию фанеры. Склеивание проводили в условиях фанерного производства ООО «Леспром СПб» в соответствии с принятым на предприятии технологическим регламентом. Склеенную фанеру испытывали на прочность при скалывании по клеевому слою.

В результате математико-статистической обработки экспериментальных данных получены зависимости, показывающие, что с увеличением содержания предлагаемых модификаторов в клею растет и прочность фанеры (рис. 3).

Для обоснования снижения содержания свободного формальдегида в готовой продукции проведен многофакторный эксперимент по склеиванию фанеры. Фанеру испытывали на содержание свободного формальдегида в готовой продукции.

Зависимость содержания свободного формальдегида в фанере от количества модификаторов в клеевой композиции представлена на рис. 4. Как видно из рисунка, с увеличением содержания модификаторов в клею содержание свободного формальдегида в готовой продукции снижается.

Для оценки характера действия лигносульфонатов была снята спектрограмма инфракрасного спектра (ИК-спектра) поглощения клея на основе карбамидоформальдегидной смолы. Исследовался клей, содержащий 10 мас. ч. лигносульфонатов и 90 мас. ч. смолы.

Анализ полученных спектрограмм (рис. 5) показал наличие изменений в структуре клеевой композиции в результате введения модификатора. Эти изменения проявились в областях спектра 2360...2790, 2840...2970 и 3640...3710 см<sup>-1</sup>.

Фрагмент I: пики в области спектра 2360...2790 см<sup>-1</sup> характерны для С=О-карбонильных групп; С=О-групп ароматических кислот; СООН- и СН<sub>3</sub>-групп.

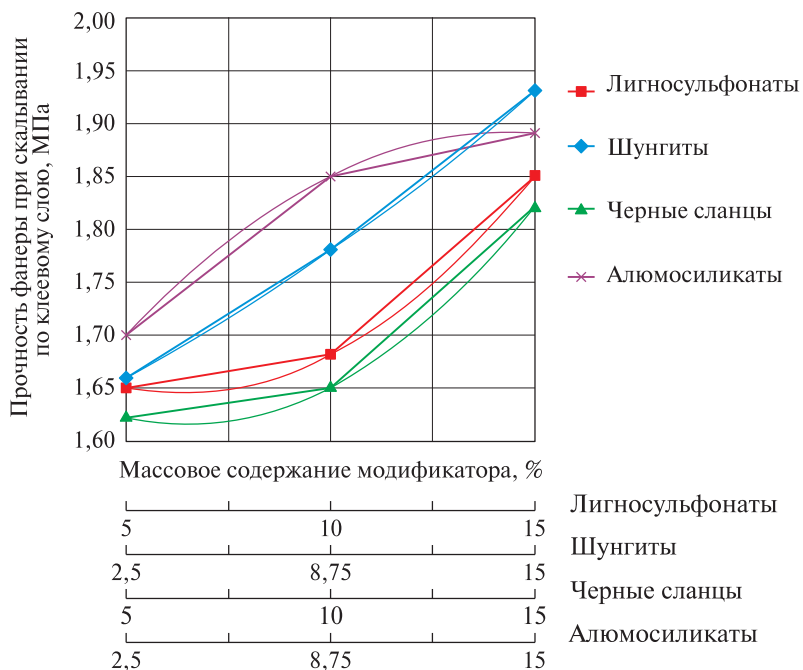


Рис. 3. Зависимость прочности фанеры при скалывании по клеевому слою от массового содержания модификатора

Fig. 3. Dependence of the strength of plywood during shearing along the adhesive layer from the mass content of the modifier

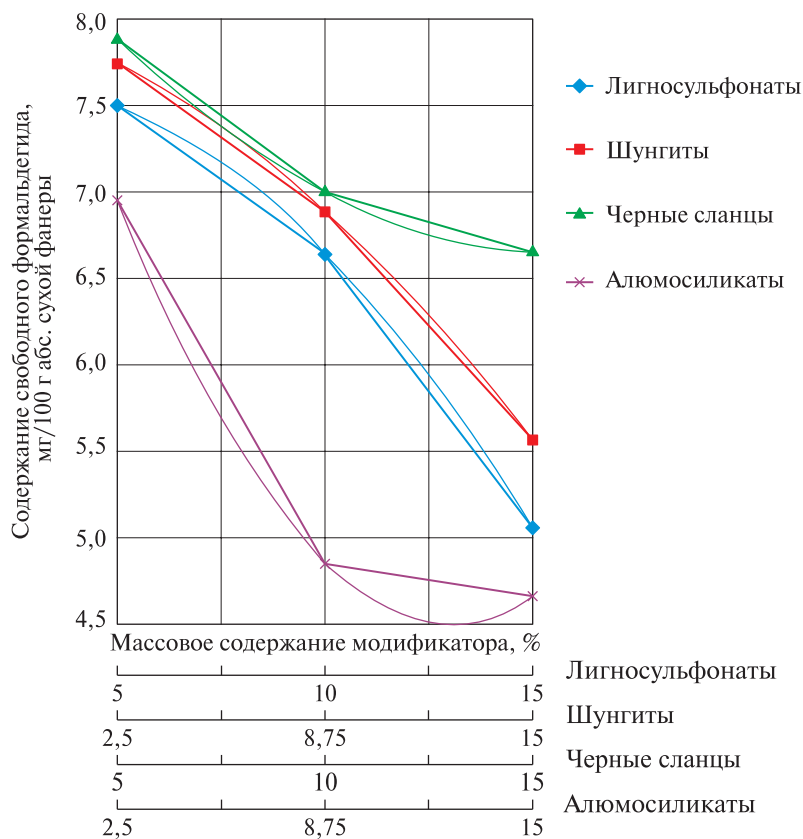
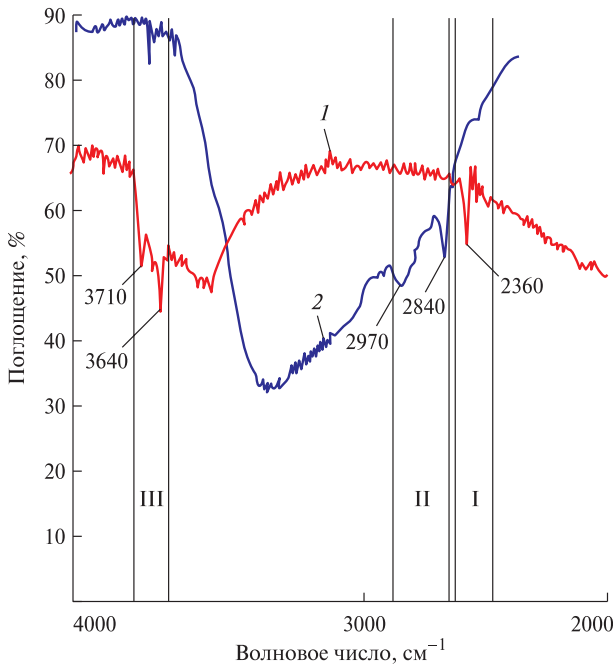


Рис. 4. Зависимость содержания свободного формальдегида от массового содержания модификатора

Fig. 4. Dependence of free formaldehyde content on the mass content of the modifier



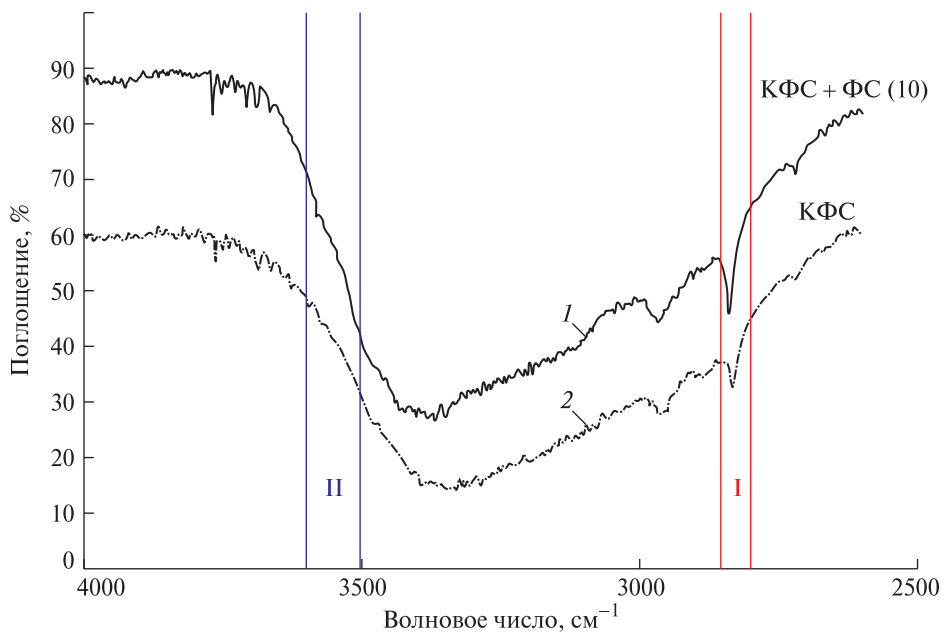
**Рис. 5.** ИК-спектры клея на основе карбамидоформальдегидной смолы: 1 — с 10 мас. ч. лигносульфонатов; 2 — без лигносульфонатов

**Fig. 5.** IR spectra of glue based on urea-formaldehyde resin: 1 — with 10 parts by weight lignosulfonates; 2 — without lignosulfonates

Таблица 3

**Экономический эффект от внедрения модифицированного карбамидоформальдегидного клея**  
**The economic effect of the introduction of modified urea-formaldehyde glue**

| Показатель   |                                   | Значение показателя |
|--|-----------------------------------|---------------------|
| Годовой объем производства фанеры, м³  |                                   | 200 000             |
| Цена за тонну, руб.  | Смола КФ-МТ-15 (концентрация 67%) | 42 640              |
|  | Лигносульфонаты                   | 3000                |
|  | Шунгиты                           | 6000                |
|  | Черные сланцы                     | 4600                |
|  | Алюмосиликаты                     | 2000                |
| Экономия от сокращения цикла пресования и снижения расхода связующего на 1 м³ фанеры, руб. | Лигносульфонаты                   | 154                 |
|  | Шунгиты                           | 133                 |
|  | Черные сланцы                     | 143                 |
|  | Алюмосиликаты                     | 80                  |
|  | Прирост прибыли, млн руб.         | Лигносульфонаты     |
| Шунгиты  |                                   | 26,6                |
| Черные сланцы  |                                   | 28,6                |
| Алюмосиликаты  |                                   | 16,0                |



**Рис. 6.** ИК-спектры клея на основе карбамидоформальдегидной смолы (КФС): 1 — с 10 мас. ч. алюмосиликатов (АС); 2 — без алюмосиликатов

**Fig. 6.** IR spectra of glue based on urea-formaldehyde resin: 1 — with 10 parts by weight aluminosilicates; 2 — without aluminosilicates



Фрагмент II: в области спектра 2840...2970  $\text{см}^{-1}$  происходит уменьшение интенсивности полосы и изменение ее контура — полоса увеличивается, это характерно для валентных колебаний ОН-групп.

Фрагмент III: в области спектра 3640...3710  $\text{см}^{-1}$  происходит смещение максимума в область более высоких частот. Такое изменение в спектрах возникает в результате упрочнения связи между молекулами связующего (считается, что смещение максимума до 15  $\text{см}^{-1}$  соответствует увеличению энергии связи молекул связующего на  $1,86 \cdot 10^3$  Дж/моль).

Спектральный анализ (см. рис. 5) показывает что в результате введения предлагаемых модификаторов ускоряется перераспределение валентных колебаний ОН-связей с разрывом межмолекулярных и увеличением внутримолекулярных связей, которым отвечает новый максимум в этой области спектра. Данные спектрального анализа подтверждают, что лигносульфонат является реакционноспособным веществом и может связывать свободный формальдегид.

Для оценки характера действия алюмосиликатов была снята спектрограмма ИК-спектра поглощения клея на основе карбамидоформальдегидной смолы. Исследовался клей, содержащий 10 мас. ч. алюмосиликатов и 90 мас. ч. смолы.

Анализ полученных спектрограмм (рис. 6) показал наличие изменений в структуре клея за счет введения алюмосиликатов. Эти изменения проявились в области спектра 2870...2970 и 3500...3550  $\text{см}^{-1}$ . ИК-спектры характеризуются следующими полосами поглощения:

Фрагмент I: изменение числа и положения полос в области 2870...2970  $\text{см}^{-1}$ , характерного для различных значений замещенного бензола, можно объяснить повышением степени отверждения связующего, в результате чего происходит изменение числа заместителей в кольце. Подтверждением этого служит ослабление полосы 2875  $\text{см}^{-1}$ , характерного для замещенного бензольного кольца, и появление двух полос в области 2870...2900  $\text{см}^{-1}$ .

Фрагмент II: в области спектра 3500...3550  $\text{см}^{-1}$  происходит смещение максимума в область более высоких частот в результате упрочнения связи между молекулами связующего, так как смещение максимума до 15  $\text{см}^{-1}$  соответствует увеличению энергии связи молекул связующего на  $1,86 \cdot 10^3$  Дж/моль.

На основании выявленных изменений в связующих (см. рис. 6), можно предположить, что в случае введения в смолу марки КФ-МТ-15 алюмосиликатов достигается ускорение процесса отверждения клея, а значит, и степени его отверждения. Подтверждением этого служат ИК-спектры поглощения, показавшие наличие изменений в структуре, соответствующих минимальному времени желатинизации.

На заключительном этапе исследований обоснована экономическая целесообразность внедрения предлагаемых модификаторов в производство фанеры. Расчетный экономический эффект от внедрения модифицированного карбамидоформальдегидного клея в условиях ООО «Илим Тимбер Индастри» (филиал в г. Братске) представлен в табл. 3.

## Выводы

Введение в клеящие составы на основе карбамидоформальдегидных смол продуктов сульфитно-целлюлозного производства позволяет улучшить технологические свойства клеев, а именно ускорить процесс отверждения клея и увеличить прочность клеевого соединения в готовой продукции.

Ускорение процесса отверждения модифицированной лигносульфонатами карбамидоформальдегидной смолы происходит за счет «кислой природы» лигносульфонатов ( $\text{pH} < 4$ ), что способствует взаимодействию лигносульфонатов с формальдегидом на стадии кислой конденсации в процессе варки карбамидоформальдегидной смолы.

Технические лигносульфонаты благодаря своим клеящим свойствам и поверхностной активности обладают способностью к повышению прочности клеевого соединения в готовой продукции за счет химического взаимодействия лигносульфонатов с формальдегидом вследствие сетчатой структуры и путем образования новых углерод-углеродных связей.

Введение в карбамидоформальдегидные смолы предлагаемых модификаторов повышает прочность фанеры, при этом снижается содержание свободного формальдегида в готовой продукции.

## Список литературы

- [1] Чубинский А.Н., Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Федяев А.А. Технология склеивания фанеры. СПб.: СПбГЛТУ, 2016. 56 с.
- [2] Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Формирование низкотоксичных клееных древесных материалов. СПб.: Химиздат, 2014. 148 с.
- [3] Варанкина Г.С. Анализ эффективности снижения токсичности и сокращения продолжительности склеивания древесных материалов различными модификаторами // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2015. Вып. 210. С. 138–148.
- [4] Варанкина Г.С., Русаков Д.С., Иванова А.В., Иванов А.М. Снижение токсичности древесных клееных материалов на основе модифицированных лигносульфонатами карбамидоформальдегидных смол // Системы. Методы. Технологии, 2016. № 3 (31). С. 154–160.
- [5] Варанкина Г.С., Брутян К.Г., Чубинский А.Н. Модифицированные карбамидоформальдегидные и фенолоформальдегидные клеи для древесностружечных плит и фанеры // Клеи. Герметики. Технологии, 2017. № 6. С. 14–19.

- [6] Иванов А.М., Русаков Д.С., Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Модификация алюмосиликатами феноло-формальдегидных смол для склеивания фанеры // Клеи. Герметики, Технологии, 2017. № 3. С. 13–17.
- [7] Кондратьев В.П., Чубов А.Б., Соколова Е.Г. Новые виды эффективных клеев для производства водостойкой экологически чистой фанеры // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2010. Вып. 191. С. 169–179.
- [8] Мосин О.В., Игнатов И. Минерал шунгит. Структура и свойства // Наноиндустрия, 2013. № 3 (41). С. 32–38.
- [9] Плотников Н.П., Симикова А.А., Плотникова Г.П. Исследование структуры модифицированных карбамидоформальдегидных смол методом ЯМР-спектроскопии // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2010. № 7. С. 171.
- [10] Плотникова Г.П., Симонян С.Х. Разработка состава клеевой композиции для соединения массивной древесины в условиях Сибири // Системы. Методы. Технологии, 2017. № 4 (36). С. 169–175.
- [11] Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of Phenol- and Carbamide-Formaldehyde Resins by Cellulose By-products // Polymer Science. Series D, 2018, v. 11, no. 1, pp. 33–38.
- [12] Соколова Е.Г. Совершенствование эксплуатационных свойств и технологии фанеры повышенной водостойкости, изготовленной с применением меламинакарбамидоформальдегидных смол // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2017. Вып. 221. С. 282–293.
- [13] Соколова Е.Г. Обоснование режимов склеивания шпона при производстве фанеры, изготовленной с применением меламинакарбамидоформальдегидных смол // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2018. Вып. 222. С. 175–187.
- [14] Угрюмов С.А. Модификация карбамидоформальдегидной смолы олеиновой кислотой для производства плитных материалов конструкционного назначения на основе костры льна // Клеи. Герметики. Технологии, 2017. № 9. С. 35–38.
- [15] Угрюмов С.А. Способы модификации фенолоформальдегидных смол, применяемых в производстве клееных древесных материалов. Обзор // Клеи. Герметики. Технологии, 2017. № 5. С. 14–19.
- [16] Чубинский А.Н., Казакевич Т.Н. Склеивание хвойной фанеры при пониженных температурах // Деревообрабатывающая промышленность, 1992. № 4. С. 4, 5.
- [17] Чубинский А.Н., Брутян К.Г. Формирование древесностружечных плит пониженной токсичности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2009. № 186. С. 156–163.

## Сведения об авторах

**Чубинский Анатолий Николаевич** — д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, a.n.chubinsky@gmail.com

**Русаков Дмитрий Сергеевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, dima-ru25@mail.ru

**Варанкина Галина Степановна** — д-р техн. наук, профессор кафедры технологии материалов, конструкций и сооружений из древесины Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, varagalina@yandex.ru

**Русакова Людмила Никифоровна** — преподаватель Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета, ludarusakova@yandex.ru

Поступила в редакцию 14.05.2018.

Принята к публикации 17.09.2018.

## PROPERTIES STUDY OF MODIFIED UREA-FORMALDEHYDE GLUES FOR PLYWOOD PRODUCTION

A.N. Chubinskiy, D.S. Rusakov, G.S. Varankina, L.N. Rusakova

St. Petersburg State Forestry University, 5, Institutskiy per., Saint Petersburg, 194021, Russia

a.n.chubinsky@gmail.com

For veneer and wood particles gluing, both urea-formaldehyde and phenol-formaldehyde and combined urea and phenol-formaldehyde hot-curing glues are used. When it is necessary to obtain a low content of toxic substances, increase the strength, adhesion reliability, heat and frost resistance, water and weather resistance of wood materials, urea-and phenol-formaldehyde resins are modified. The study used urea-formaldehyde resin KF-MT-15, which was introduced with various modifiers: technical lignosulfonates with particle sizes of 0.01...0,2 mm, schungites with particle sizes of 0,2...0,8 mm, black shales with particle sizes 0.005...0,2 mm, aluminosilicates with particle sizes of 0,2...0,8 mm. Comparative analysis revealed that none of the modifiers under investigation do not worsen the physicochemical properties of urea-formaldehyde resins, increasing the operational properties of glue compounds. To substantiate the gluing regimes and increase the strength of finished products multifactor experiments on gluing of plywood were carried out. Gluing was carried out in the conditions of plywood production in accordance with the technological regulations adopted at the enterprise. The glued plywood was tested for strength in shearing along the adhesive layer. To substantiate the decrease in the content of free formaldehyde in the finished product a multifactorial experiment on gluing plywood was carried out. The plywood was tested for the content of free formaldehyde in the finished product. Introduction to adhesive formulations based on urea-formaldehyde resins products of sulfite-cellulose production allows to improve the technological properties of adhesives, namely to accelerate the curing process of the glue and to increase the strength of the adhesive compound in the finished product. The acceleration of the curing of modified urea-formaldehyde resin by lignosulfonates is due to the «acidic nature» of lignosulfonates ( $\text{pH} < 4$ ), which facilitates the interaction of lignosulfonates with formaldehyde during the acid condensation stage during the process of the urea-formaldehyde resin cooking. Technical lignosulfonates due to their adhesive and surface active properties have the ability to increase the strength of the adhesive compound of finished products, due to the chemical interaction of lignosulfonates with formaldehyde, due to the network structure and the formation of new carbon-carbon bonds. The introduction of the proposed modifiers into urea-formaldehyde resins increases the strength of the plywood while reducing the free formaldehyde content of the finished product.

**Keywords:** veneer gluing, modification, urea-formaldehyde resin, lignosulfonates, schungites, black slates, aluminosilicates

**Suggested citation:** Chubinskiy A.N., Rusakov D.S., Varankina G.S., Rusakova L.N. *Issledovanie svoystv modifitsirovannykh karbamidoformal'degidnykh kleev dlya izgotovleniya fanery* [Properties study of modified urea-formaldehyde glues for plywood production]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 103–112. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-103-112

### References

- [1] Chubinskiy A.N., Varankina G.S., Rusakov D.S., Fedyaev A.A. *Tekhnologiya skleivaniya fanery* [Technology of gluing of plywood]. Saint. Petersburg: SPbGLTU, 2016, 56 p.
- [2] Varankina G.S., Chubinskiy A.N. *Formirovanie nizkotoksichnykh kleennykh drevesnykh materialov* [Formation of low-toxic glued wood materials]. Saint. Petersburg: Khimizdat, 2014, 148 p.
- [3] Varankina G.S. *Analiz effektivnosti snizheniya toksichnosti i sokrashcheniya prodolzhitel'nosti skleivaniya drevesnykh materialov razlichnymi modifikatorami* [Analysis of the effectiveness of reducing toxicity and reducing the duration of gluing wood materials with various modifiers]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2015, iss. 210, pp. 138–148.
- [4] Varankina G.S., Rusakov D.S., Ivanova A.V., Ivanov A.M. *Snizhenie toksichnosti drevesnykh kleennykh materialov na osnove modifitsirovannykh lignosul'fonatami karbamidoformal'degidnykh smol* [Reduction of the toxicity of wood glued materials on the basis of urea-formaldehyde resins modified with lignosulfonates]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Sistemy. Methods. Technology], 2016, no. 3 (31), pp. 154–160.
- [5] Varankina G.S., Brutyan K.G., Chubinskiy A.N. *Modifitsirovannyye karbamidoformal'degidnye i fenoloformal'degidnye klei dlya drevesnostruzhechnykh plit i fanery* [Modified carbamide-formaldehyde and phenol-formaldehyde adhesives for chip-board and plywood]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Sealants. Technology], 2017, no. 6, pp. 14–19.
- [6] Ivanov A.M., Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinskiy A.N. *Modifikatsiya alyumosilikatami fenolo-formal'degidnykh smol dlya skleivaniya fanery* [Modification of phenolic-formaldehyde resins by aluminosilicates for gluing of plywood]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Sealants. Technology], 2017, no. 3, pp. 13–17.
- [7] Kondrat'ev V.P., Chubov A.B., Sokolova E.G. *Novyye vidy effektivnykh kleev dlya proizvodstva vodostoykoy ekologicheskoy chistoy fanery* [New types of effective adhesives for the production of water-resistant environmentally friendly plywood]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2010, iss. 191, pp. 169–179.
- [8] Mosin O.V., Ignatov I. *Mineral shungit. Struktura i svoystva* [Mineral schungite. Structure and properties], *Nanoindustriya* [Nanoindustry], 2013, no. 3 (41), pp. 32–38.

- [9] Plotnikov N.P., Simikova A.A., Plotnikova G.P. *Issledovanie struktury modifitsirovannykh karbamidoformal'degidnykh smol metodom YaMR-spektroskopii* [Investigation of the structure of modified carbamide-formaldehyde resins by the method of NMR spectroscopy]. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University], 2010, no. 7, p. 171.
- [10] Plotnikova G.P., Simonyan S.Kh. *Razrabotka sostava kleevoy kompozitsii dlya soedineniya massivnoy drevesiny v usloviyakh Sibiri* [Development of the composition of an adhesive composition for joining solid wood in Siberia]. *Sistemy. Metody. Tekhnologii* [Sistemy. Methods. Technology], 2017, no. 4 (36), pp. 169–175.
- [11] Rusakov D.S., Varankina G.S., Chubinsky A.N. Modification of Phenol- and Carbamide-Formaldehyde Resins by Cellulose By-products, *Polymer Science, Ser. D*, 2018, v. 11, no. 1, pp. 33–38.
- [12] Sokolova E.G. *Sovershenstvovanie ekspluatatsionnykh svoystv i tekhnologii fanery povyshennoy vodostoykosti, izgotovlennoy s primeneniem melaminokarbamidoformal'degidnykh smol* [Improvement of operational properties and technology of plywood with increased water resistance, made with the use of melamine-carbamido-formaldehyde resins]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2017, iss. 221, pp. 282–293.
- [13] Sokolova E.G. *Obosnovanie rezhimov skleivaniya shpona pri proizvodstve fanery, izgotovlennoy s primeneniem melaminokarbamidoformal'degidnykh smol* [Justification of veneer bonding regimes in the production of plywood made using melamine-carbamido-formaldehyde resins]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2018, iss. 222, pp. 175–187.
- [14] Ugryumov S.A. *Modifikatsiya karbamidoformal'degidnoy smoly oleinoy kislotoy dlya proizvodstva plitnykh materialov konstruksionnogo naznacheniya na osnove kostry l'na* [Modification of urea-formaldehyde resin with oleic acid for the production of plate materials for structural purposes based on flax bonfire]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Sealants. Technology], 2017, no. 9, pp. 35–38.
- [15] Ugryumov S.A. *Sposoby modifikatsii fenoloformal'degidnykh smol, primenyaemykh v proizvodstve kleenykh drevesnykh materialov. Obzor* [Methods for the modification of phenol-formaldehyde resins used in the production of glued wood materials. Overview]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii* [Glues. Sealants. Technology], 2017, no. 5, pp. 14–19.
- [16] Chubinskiy A.N., Kazakevich T.N. *Skleivanie khvoynoy fanery pri ponizhenykh temperaturakh* [Bonding of coniferous plywood at low temperatures] *Derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'* [Woodworking industry], 1992, no. 4, pp. 4, 5.
- [17] Chubinskiy A.N., Brutyan K.G. *Formirovanie drevesnostruzhechnykh plit ponizhennoy toksichnosti* [Formation of particle boards with reduced toxicity]. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg State Forest Technical Academy], 2009, no. 186, pp. 156–163.

## Authors' information

**Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of the Department of Technology of Materials and Structures of Wood of St. Petersburg State Forestry University, a.n.chubinsky@gmail.com

**Rusakov Dmitriy Sergeevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated Professor of the Department of Technology of Materials and Structures of Wood of the St. Petersburg State Forestry University, dima-ru25@mail.ru

**Varankina Galina Stepanovna** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the Department of Technology of Materials and Structures of Wood of St. Petersburg State Forestry University, varagalina@yandex.ru

**Rusakova Lyudmila Nikiforovna** — Lector of St. Petersburg State Forestry University, ludarusakova@yandex.ru

Received 14.05.2018.

Accepted for publication 17.09.2018.



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИНТЕТИЧЕСКИХ ВОЛОКОН ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СПЕЦИАЛЬНЫХ ВИДОВ БУМАГИ

О.С. Мартянова<sup>1</sup>, Н.В. Хомутильников<sup>1</sup>, Е.В. Куркова<sup>1</sup>, Г.Е. Иванов<sup>1</sup>,  
И.О. Говязин<sup>1</sup>, Г.Н. Кононов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>НИИ — филиал АО «Гознак», отдел технологии бумаги, 115162, г. Москва, ул. Мытная, д. 19

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

Martyanova\_O\_S@goznak.ru

Использование добавок синтетических волокон в композиции специальных видов бумаги для печати обусловлено особенностями их природы — биостойкостью, химической инертностью, высокой прочностью, повышенной эластичностью и деформационной устойчивостью. В данной работе показано влияние синтетических волокон различных марок промышленного образца, а также их параметров (длина, толщина) на изменение потребительских характеристик специальных видов бумаги для печати. Отмечено увеличение привеса пропиточного состава из современных водоразбавляемых дисперсий полимеров на единицу площади бумажного полотна с добавками синтетических волокон, что позволяет получить новый целлюлозный композиционный материал с улучшенными потребительскими характеристиками — эластичностью, устойчивостью к раздиранию и износу при сохранении специальных и печатных свойств. На основании проведенных исследований осуществлен выбор вида и параметров синтетических волокон; определено влияние их добавок на базовые потребительские физико-механические характеристики бумаги, печатные свойства, читаемость водяного знака. Приведенные данные могут быть использованы в технологии изготовления специальных видов бумаги для печати.

**Ключевые слова:** бумага, синтетические волокна, полиэфирные и полиамидные волокна, физико-механические показатели бумаги, поверхностная обработка бумаги, износостойкость

**Ссылка для цитирования:** Мартянова О.С., Хомутильников Н.В., Куркова Е.В., Иванов Г.Е., Говязин И.О., Кононов Г.Н. Использование синтетических волокон для изготовления специальных видов бумаги // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 113–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-113-120

Разработка новых видов бумаги и направленное изменение свойств действующего ассортимента бумажной продукции является актуальной задачей производителя [1–4]. Для изготовления бумаги традиционно используется растительное сырье — целлюлоза из различных видов древесины или однолетних растений. Свойства натуральных целлюлозных волокон определяются их природой и варьируются в незначительных пределах в зависимости от вида растительного сырья, а также способа варки и подготовки к отливу. В настоящее время на рынке появились синтетические волокна короткой резки, специальным образом подготовленные для использования в целлюлозно-бумажной промышленности (ЦБП). Добавки синтетических волокон в композицию бумаги благоприятно сказываются на ее физико-механических характеристиках [5–8]. Параметры данных синтетических волокон сопоставимы с размерами волокон природной целлюлозы, что в значительной степени облегчает адаптацию синтетических волокон (нового волокнистого сырья) в потоке изготовления бумаги [2, 9–12]. Наибольший интерес представляют полиамидные и полиэфирные волокна, предлагаемые на современном рынке под различными торговыми марками.

Наряду с высокой механической прочностью и деформационной устойчивостью, синтетические волокна обладают биостойкостью, инертностью

и эластичностью, что позволяет применять их в композиции бумаги с повышенной устойчивостью к износу [13–15].

### Цель работы

Цель работы — разработка технологии изготовления специальных видов бумаги для печати с повышенной устойчивостью к износу (бумага) путем добавки синтетических волокон в волокнистую композицию с последующей обработкой современными водоразбавляемыми полимерными дисперсиями. Одновременно решается задача расширения сырьевой базы и адаптации добавок синтетических волокон в композицию бумаги без модификации действующего оборудования.

### Материалы и методы

В рамках данной работы проведены исследования добавок синтетических волокон различных видов и параметров в волокнистую композицию бумаги. Наличие синтетических волокон в композиции бумажной массы значительно изменяет водоотдачу при отливе на сетке бумагоделательной машины (БДМ) и оказывает негативное влияние на структуру поверхности бумажного полотна, равномерность просвета [2, 12, 15] и читаемость водяного знака. Поэтому для целей настоящего исследования добавка синтетических волокон была ограничена 10 %.

При изготовлении опытных образцов бумаги были использованы полиэфирные волокна (ПЭВ) различных марок с разной длиной резки, а также полиэфирные и полиамидные волокна (ПАмВ) с длиной резки 6...7 мм, изготовленные на опытном производстве Всесоюзного научно-исследовательского института синтетического волокна (ВНИИСВ). Основные характеристики волокон приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1  
Характеристики синтетических волокон  
Characteristics of synthetic fibers

| Характеристика                    | ПЭВ         |    | ПАмВ            |     |
|-----------------------------------|-------------|----|-----------------|-----|
|                                   | 3           | 6  | 6-7             | 6-7 |
| Длина, мм                         | 3           | 6  | 6-7             | 6-7 |
| Толщина, мкм                      | 14          | 14 | 19              | 19  |
| Страна-производитель, предприятие | Южная Корея |    | Россия (ВНИИСВ) |     |

Исследования по выбору вида синтетических волокон и их параметров сначала проводили на опытных образцах бумаги ручного отлива. Полученные образцы бумаги пропитывали водоразбавляемой дисперсией на основе стирол-акрилового сополимера. Изменения качества бумаги фиксировали по уровню показателей, характеризующих важные свойства износостойкой бумаги — «прочность на излом» и «сопротивление раздиранию». Результаты испытаний показаны на рис. 1.

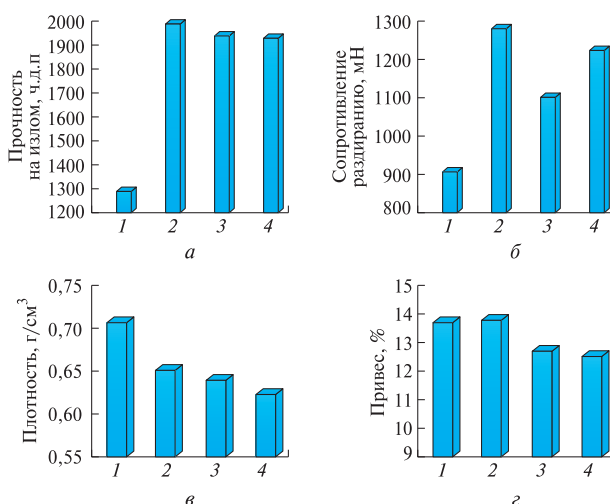


Рис. 1. Влияние вида синтетического волокна на физико-механические показатели бумаги: а — прочность на излом; б — сопротивление раздиранию; в — плотность; г — привес пропиточного состава; 1 — 100 % хлопок; 2 — 10 % ПЭВ (Ю. Корея); 3 — 10 % ПЭВ (Россия); 4 — 10 % ПамВ

Fig. 1. The influence of synthetic fibers types on the physical-mechanical properties of paper: a — fracture strength b — tear resistance; c — density of paper; d — the weight of impregnating composition; 1 — 100 % cotton; 2 — 10 % PF (South Korea); 3 — 10 % PF (Russia); 4 — 10 % PamF

## Результаты и обсуждение

Как следует из полученных данных, добавка 10 % синтетических волокон всех видов (см. табл. 1) в композицию бумажной массы из 100%-ной хлопковой целлюлозы позволяет увеличить показатель «прочность на излом» на 35 % (рис. 1, а), а показатель «сопротивление раздиранию» — на 20...40 % (рис. 1, б).

Увеличение толщины волокон способствует снижению показателя «сопротивление раздиранию»; при этом показатель «прочность на излом» для волокнистой композиции с добавкой полиэфирных волокон производства ВНИИСВ (см. табл. 1) с большей толщиной остается примерно на одном уровне с бумагой, в композиции которой использованы волокна меньшей толщины.

Плотность бумажного полотна уменьшается, но привес пропиточного состава остается высоким. Так, при использовании полиамидного волокна производства ВНИИСВ, которое характеризуется более низкой упругостью, чем полиэфирные волокна, получается бумага с минимальной плотностью (рис. 1, в). Наибольший привес пропиточного состава (рис. 1, г) отмечен у образцов бумаги с полиэфирным волокном корейского производства (см. табл. 1).

Влияние длины волокон на свойства бумаги показано на рис. 2 (на примере полиэфирных волокон производства Южной Кореи).

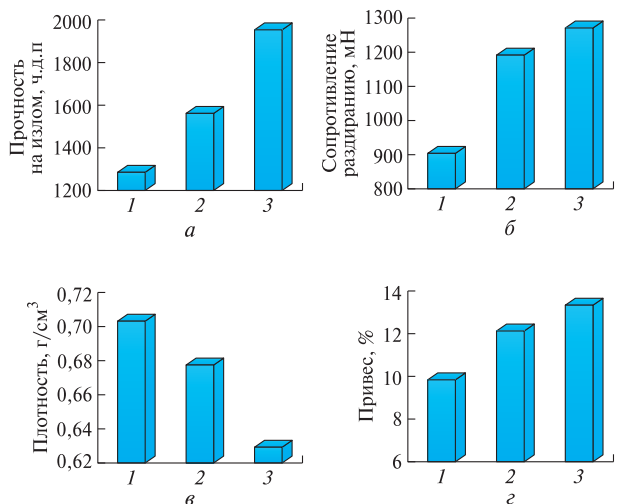


Рис. 2. Влияние длины полиэфирных волокон на физико-механические показатели бумаги: а — прочность на излом; б — сопротивление раздиранию; в — плотность; г — привес пропиточного состава; 1 — 100 % хлопок; 2 — 10 % ПЭВ (длина 3 мм); 3 — 10 % ПЭВ (длина 6 мм)

Fig. 2. The influence of the polyester fibers length on the physical and mechanical properties of paper: a — fracture strength; b — tear resistance; c — density of paper; d — the weight of impregnating composition; 1 — 100 % cotton; 2 — 10 % PF (length 3 mm); 3 — 10 % PF (length 6 mm)

Полученные данные свидетельствуют о том, что увеличение длины полиэфирных волокон с 3 до 6 мм приводит к росту важных потребительских показателей бумаги. Так, показатель «прочность на излом» увеличивается на 25...50 % (рис. 2, *a*), а показатель «сопротивление раздиранию» — на 10...30 % (рис. 2, *б*). Одновременно уменьшается плотность бумаги (рис. 2, *в*) и растет привес пропиточного состава (рис. 2, *г*).

Варьирование добавок синтетических волокон в композиции опытных образцов бумаги (в качестве примера взято 0; 5; 10 % ПЭВ, длиной 6 мм, корейского производства) позволяет получить бумагу с показателем «сопротивление раздиранию» более 1200 мН, что практически невозможно при использовании волокнистой композиции из 100%-ной хлопковой целлюлозы. Тенденции изменения плотности бумажного полотна (рис. 3, *a*) и привеса пропиточного состава (рис. 3, *б*) сохраняются.

Как показали проведенные исследования, увеличение длины синтетических волокон, а также их доли в композиции бумажного полотна оказывает положительное влияние на такие важные потребительские характеристики специальных видов бумаги, как сопротивление раздиранию и прочность на излом; при этом толщина волокон должна быть наименьшей.

По сравнению с бумагой из 100 %-ной хлопковой целлюлозы обеспечивается снижение плотности и усиление впитывающей способности проклеивающих составов. Это дает возможность модифицировать бумагу-основу путем использования современных дисперсий на основе стирол-акрилата и полиуретана, адгезионные и барьерные свойства которых способствуют формированию нового композиционного материала — износостойкой бумаги [16–20].

Образцы бумаги из 100 % хлопка и бумаги с добавкой 10 % полиэфирных волокон для сравнения были пропитаны поливиниловым спиртом (ПВС), стирол-акрилатом (СА) и полиуретаном (ПУ). Их влияние на изменение степени износа и устойчивости к загрязнению образцов бумаги по методикам, разработанным в НИИ — филиале АО «Гознак» [21], представлены на рис. 4.

Как видно из рис. 4, бумага обработанная с поверхности СА, обладает высокой износостойкостью. При этом оптимальным для реализации на практике считаем результат, полученный при обработке бумаги составом на основе ПУ. Рыхлое бумажное полотно с добавками синтетических волокон изнашивается быстрее (см. рис. 4, вариант без поверхностной обработки (Без ПО), а использование эластичного полиуретана для поверхностной обработки позволяет сохранить исходные параметры образца в процессе модельного износа и загрязнения [21].

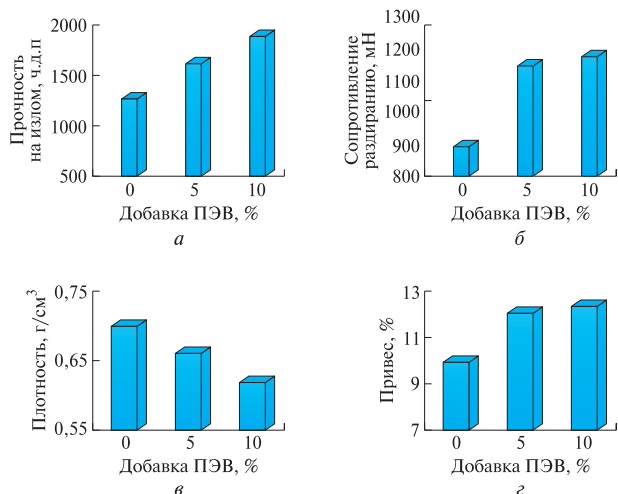


Рис. 3. Влияние количества полиэфирных волокон на физико-механические показатели бумаги: *a* — прочность на излом; *б* — сопротивление раздиранию; *в* — плотность; *г* — привес пропиточного состава

Fig. 3. The effect of the additives of polyester fibers on the physical and mechanical properties of paper: *a* — fracture strength; *b* — tear resistance; *c* — density of paper; *d* — the weight of impregnating composition

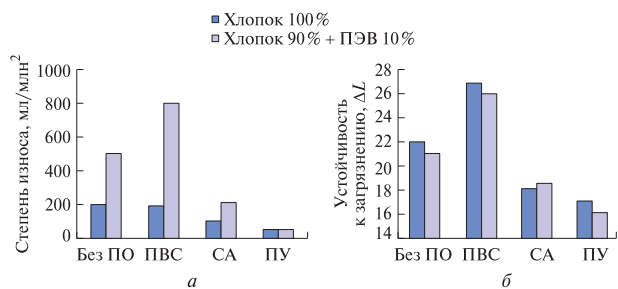


Рис. 4. Износостойкость (*a*) и устойчивость к загрязнению (*б*) бумаги, обработанной с поверхности растворами различных полимеров; ПО — поверхностная обработка

Fig. 4. The wear resistance (*a*) and resistance to contamination (*b*) of the paper treated with surface solutions of different polymers; ST-surface treatment

Испытания в промышленных условиях показали, что различные марки полиэфирных волокон на стадии подготовки бумажной массы и при отливе на БДМ ведут себя по-разному. При отливе образцов бумаги с повышенной устойчивостью к износу на опытной БДМ использовали полиэфирные волокна двух торговых марок. В табл. 2 даны их характеристики. Пропитка бумажного полотна осуществлялась составом на основе дисперсии полиуретана по технологии «on-line».

Полиэфирные волокна корейского производства (см. табл. 2, вариант 1) — эластичные, хорошо смачиваются водой и обеспечивают более сомкнутую структуру бумажного полотна, что затрудняет проникновение полиуретановой дисперсии вглубь бумажного полотна. Волокна дан-

Т а б л и ц а 2  
Характеристики полиэфирных волокон  
Characteristics of polyester fibers

| Характеристика         | Вариант ПЭВ |       |
|------------------------|-------------|-------|
|                        | 1           | 2     |
| Длина, мм              | 6,2         | 6,8   |
| Диаметр, мкм           | 11,0        | 11,5  |
| Разрывная нагрузка, сН | 7,2         | 8,7   |
| Содержание влаги, %    | 12,5        | 15,0  |
| Страна производства    | Южная Корея | Китай |

ной марки лучше диспергируются в воде и равномернее распределяются в бумажном полотне. Волокна производства Китая (см. табл. 2, вариант 2) с бóльшей жесткостью и длиной обеспечивают более пухлую бумажную матрицу, в которую легко проникает полиуретановая дисперсия.

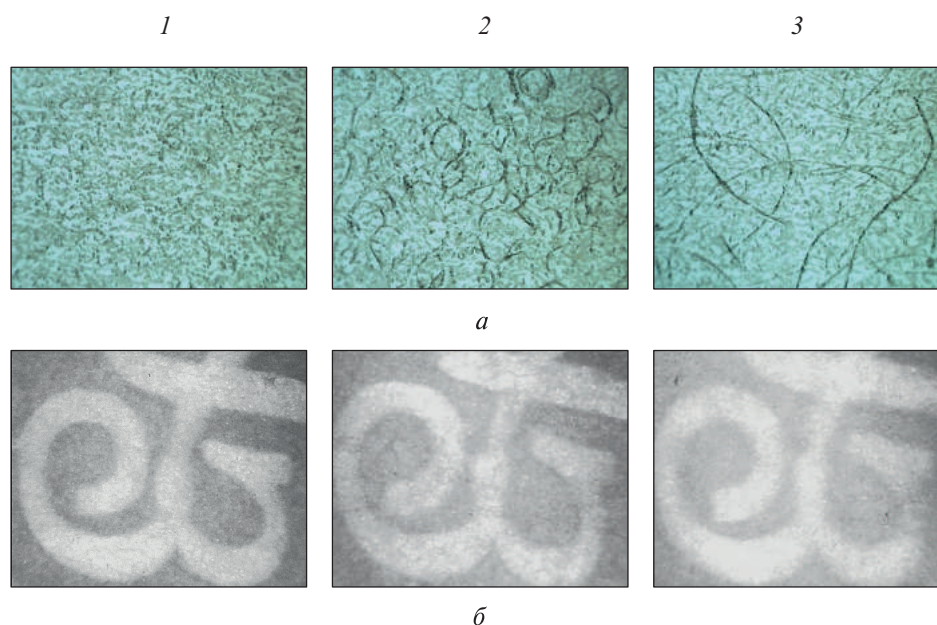
Таким образом, волокна с разной длиной, упругостью и прочностью по-разному встраиваются в бумажную матрицу, образуя на поверхности бумажного листа различную текстуру. Последнее становится очевидным на образцах бумаги после модельного загрязнения (рис. 5, *а*). Более гибкие и тонкие полиэфирные волокна производства Южной Кореи равномерно распределяются в бумажном полотне, лучше встраиваются в структуру бумажной матрицы, что обеспечивает их оптимальное переплетение с целлюлозными волокнами, минимальное ухудшение просвета бумаги и читаемость водяного знака (рис. 5, *б*).

Использование более жестких волокон производства Китая ухудшает просвет бумаги и читаемость водяного знака (см. рис. 5, *б*). Поверхностная обработка бумаги составами на основе дисперсии полиуретана позволяет выявленным закономерностям проявиться отчетливее.

Таким образом, выбор той или иной марки синтетических волокон в качестве добавки при изготовлении высококачественной износостойкой бумаги возможен только после проверки их поведения в условиях производства.

Регулирование привеса пропиточного состава на единицу площади бумаги можно осуществить путем варьирования давления в прессовой части БДМ [16–18]. Влияние режима прессования на свойства бумаги показано в табл. 3.

Из данных табл. 3 следует, что изменение давления в прессовой части БДМ позволяет изменять пористость (воздухопроницаемость) бумаги-основы. При этом минимальное давление прессования приводит к увеличению пухлости бумажной папки, о чем свидетельствуют значения показателей «воздухопроницаемость» и «привес пропиточного состава». Максимальное давление прессования в равных условиях позволяет получить бумагу-основу с более сомкнутой структурой, о чем свидетельствуют низкое значение показателей «воздухопроницаемость» (13 мл/мин) и «привес пропиточного состава».



**Рис. 5.** Особенности встраивания полиэфирных волокон в бумажной матрице: *а* — текстура бумаги после модельного загрязнения; *б* — водяной знак; 1 — 100 % хлопок; 2 — 10 % ПЭВ (длина 6,2 мм; Южная Корея); 3 — 10 % ПЭВ (длина 6,8 мм; Китай)

**Fig. 5.** Features of polyester fibers embedded in the paper matrix: *a* — the texture of paper after the model of contamination; *b* — the watermark; 1 — 100 % cotton; 2 — 10 % PF (length 6.2 mm; South Korea); 3 — 10 % PF (length 6.8 mm; China)



Т а б л и ц а 3  
Влияние режима прессования бумажного  
полотна на свойства бумаги

Influence of the pressing mode of a paperweb  
on properties of paper

| Показатель                                | Давление в прессовой части<br>БДМ (3-й пресс) |              |
|---|---|--------------|
|   | минимальное                                   | максимальное |
| Привес пропиточного<br>состава, %         | 12,6  | 8,9          |
| Воздухопроницаемость,<br>мл/мин           | 41  | 13           |
| Прочность на излом,<br>ч.д.п.             | 9000  | 8518         |
| Сопротивление<br>раздиранию, мН           | 1000  | 973          |
| Степень износа, мл/мин                    | 65  | 50           |
| Устойчивость<br>к загрязнению, $\Delta L$ | 17,9  | 17,3         |

Таким образом, регулировать привес пропиточного состава и, соответственно, итоговую износостойкость бумаги и важные потребительские характеристики — прочность на излом и сопротивление раздиранию — можно путем изменения давления в прессовой части БДМ.

Для промышленных образцов были определены печатно-технологические свойства для бумаги двух вариантов: вариант 1 — бумага из 100%-ной хлопковой целлюлозы; вариант 2 — композиция бумажной массы из целлюлозы с добавкой 10 % ПЭВ.

На пробопечатном устройстве IGTGST-1 при скорости выщипывания более 4 м/с проведены испытания на стойкость бумаги к выщипыванию. Образцы бумаги обоих вариантов выдержали испытания на прочность поверхности.

При нанесении красочного слоя на пробопечатном устройстве Prüfbau отмечен хороший процент переноса краски при толщине 1,2 г/м<sup>2</sup>

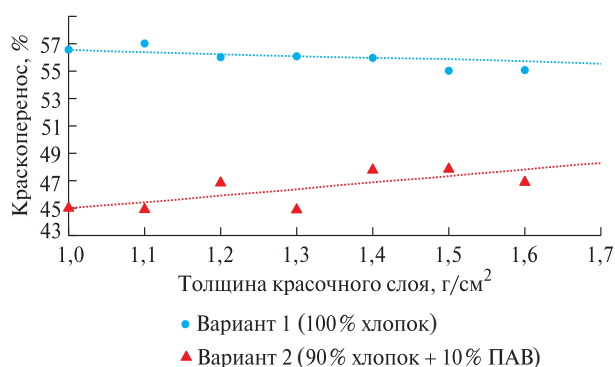


Рис. 6. Процесс переноса краски при различной толщине красочного слоя

Fig. 6. The paint transfer process depending on the thickness of the paint layer

(более 40 %) для имитации офсетного способа печати (рис. 6). На бумаге обоих вариантов восприятие краски однородное.

Полученные результаты позволяют предположить, что печать на бумаге с добавками синтетических волокон по полному циклу изготовления изделий возможна.

## Выводы

1. Показана возможность изготовления специальных видов бумаги для печати с повышенной износостойкостью.

В рамках разработанной технологии возможно направленное дозирование синтетических волокон с учетом их количества и исходных характеристик (природы, длины, толщины), а также управление привесом пропиточного состава с целью получения износостойкой бумаги.

2. Использование синтетических волокон в композиции бумаги позволяет увеличить и стабилизировать потребительские характеристики износостойкой бумаги, особенно такие, как сопротивление раздиранию и прочность на излом.

3. Относительная дешевизна и доступность синтетического волокна по сравнению с хлопковой целлюлозой позволяет расширить сырьевую базу и ассортимент выпускаемой продукции.

4. Показана возможность печати на износостойкой бумаге с добавками синтетических волокон по полному циклу изготовления изделий. При толщине красочного слоя, соответствующего офсетной печати, отмечен высокий процент переноса краски (более 40 %).

## Список литературы

- Аким Э.Л. Обработка бумаги. Москва, Лесная промышленность, 1979. 232 с.
- Гутман Б.Б., Янченко Л.П., Гуревич Л.И. Бумага из синтетических волокон. М.: Лесная промышленность, 1971. 184 с.
- Иванов С.Н. Технология бумаги. М.: Школа бумаги, 2006. 696 с.
- Фляте Д.М. Свойства бумаги. СПб.: Мир и семья-95, 1999. 384 с.
- Монкрифф Р.У. Химические волокна. М.: Легкая индустрия, 1964. 606 с.
- Садов Ф.И., Корчагин М.В., Матецкий А.И. Химическая технология волокнистых материалов. М.: Легкая индустрия, 1968. 784 с.
- Химические волокна / под ред. А.А. Конкина. М.: Гос. науч.-техн. изд. химической литературы, 1958. 52 с.
- Перепелкин К.Е. История и хронология развития химических волокон в мире // Химические волокна, 2002. № 5. С. 3–11.
- Перепелкин К.Е. Прошлое, настоящее и будущее химических волокон. М.: МГТУ, 2004. 208 с.
- Иванов С.Н., Горский Г.М. Синтетические волокна из поливинилового спирта в бумажном производстве // Бумажная промышленность, 1964. № 1. С. 4–6.
- Композиционные материалы волокнистого строения / под ред. И.Н. Францевича, Д.М. Карпиной. Киев: Наукова думка, 1970. 400 с.

- [12] Смолин А.С. Межволоконные связи и макроструктура бумаги и картона: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.21.03. СПб., 1999.
- [13] Security Paper highly resistant to double folding and method for making same. Пат. US2007/0164556 A1 / Henri Rosset, Pierre Doublet, патентообладатель Arjowiggins; заявл. 29.12.2004, опубл. 19.07.2007., 5 с.
- [14] Fibrous substrate for insert including an antenna. Пат. US2010/0321248 A1 / Sandrine Rancien, Celine Despous, патентообладатель Arjowiggins; заявл. 04.07.2004, опубл. 23.12.2010., 11 с.
- [15] Куркова Е.В., Иванов Г.Е., Мартянова О.С. Бумага с синтетическими волокнами // Матер. III Международной научно-технической конференции «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов», посвященной памяти профессора В.И. Комарова. Архангельск, САФУ, 9–11 сентября 2015 г. Архангельск: САФУ, 2015. С. 88–93.
- [16] Крылатов Ю.А., Ковернинский И.Н. Проклейка бумаги. М.: Лесная пром-сть, 1987. 288 с.
- [17] Вдовина О.С. Поверхностная проклейка бумаги и картона синтезированным полимерным клеем: Автореферат дис. ... канд. техн. наук: 05.21.03. Красноярск, 2016. 182 с.
- [18] Аким Э.Л. Синтетические полимеры в бумажной промышленности. М.: Лесная пром-сть, 1986. 248 с.
- [19] Химия в ЦБП: Сб. трудов Международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург, СПбГТУ, 11–12 декабря 2008 г. / под ред. А.Н. Иванова. СПб.: СПбГТУ, 2008. 88 с.
- [20] Banknote-paper / Diamone. URL: <https://www.security.arjowiggins.com/banknote-paper/diamone> (дата обращения 24.07.2018).
- [21] Хомутильников Н.В., Куркова Е.В., Говязин И.О., Иванов Г.Е., Мартянова О.С. Грязестойкая бумага для банкнот // Целлюлоза. Бумага. Картон, 2016. № 9. С. 50–54.

## Сведения об авторах

**Мартянова Ольга Сергеевна** — научный сотрудник отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», [Martyanova\\_O\\_S@goznak.ru](mailto:Martyanova_O_S@goznak.ru)

**Хомутильников Николай Васильевич** — канд. техн. наук, начальник отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», [Nomutinnikov\\_N\\_V@goznak.ru](mailto:Nomutinnikov_N_V@goznak.ru)

**Куркова Елена Владимировна** — канд. техн. наук, заместитель начальника отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», [Kurkova\\_E\\_V@goznak.ru](mailto:Kurkova_E_V@goznak.ru)

**Иванов Геннадий Егорович** — канд. техн. наук, старший научный сотрудник отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», [Ivanov\\_G\\_E@goznak.ru](mailto:Ivanov_G_E@goznak.ru)

**Говязин Игорь Олегович** — старший научный сотрудник отдела технологии бумаги НИИ — филиала АО «Гознак», [Govyazin\\_I\\_O@goznak.ru](mailto:Govyazin_I_O@goznak.ru)

**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](mailto:Kononov@mgul.ac.ru)

Поступила в редакцию 23.05.2018.

Принята к публикации 30.08.2018.

## USE OF SYNTHETIC FIBERS FOR SPECIAL TYPES OF PAPER PRODUCTION

O.S. Mart'yanova<sup>1</sup>, N.V. Khomutinnikov<sup>1</sup>, E.V. Kurkova<sup>1</sup>, G.E. Ivanov<sup>1</sup>,  
I.O. Govyazin<sup>1</sup>, G.N. Kononov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Research Institute — Branch of the Joint-Stock Company «Goznak», Department of Paper Technology, 19, Mytnaya st., 115162, Moscow, Russia

<sup>2</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

Martyanova\_O\_S@goznak.ru

Special features of synthetic fibers such as biostability, chemical inertness, high strength, increased elasticity and deformation resistance become important distinctive properties of a new type of fibrous raw material for production of special types of printing paper. Addition of synthetic fibers to a fibrous paper composition with special properties contributes to a direct change in physical and mechanical characteristics and production of cellulosic composite material with the increased elasticity, resistance to tear and wear. The effect of various types of production prototypes of synthetic fibers, as well as their parameters (length, thickness) on change in basic consumer characteristics of special types of printing paper is shown in the work. An increase in weight of the impregnating composition based on modern water-diluted dispersions of polymers per unit area of paper web with synthetic fiber additives has been noted, which makes it possible to obtain a new cellulose composite material with increased elasticity, resistance to tear and wear while keeping special and printing properties. The type and brand of synthetic fibers were selected based on the research carried out, the effect of the additives on the basic consumer physical and mechanical characteristics of the paper web, printing properties, structure of its surface, and readability of the watermark was determined. The given data can be used in the manufacturing technology of special types of printing paper.

**Keywords:** paper, synthetic fibers, polyester or polyamide fibers, physical and mechanical properties of paper, surface treatment of paper, wear resistance

**Suggested citation:** Mart'yanova O.S., Khomutinnikov N.V., Kurkova E.V., Ivanov G.E., Govyazin I.O., Kononov G.N. *Ispol'zovanie sinteticheskikh volokon dlya izgotovleniya spetsial'nykh vidov bumagi* [Use of synthetic fibers for special types of paper production]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 113–120. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-113-120

### References

- [1] Akim E.L. *Obrabotka bumagi* [Paper handling]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1979, 232 p.
- [2] Gutman B.B., Yanchenko L.P., Gurevich L.I. *Bumaga iz sinteticheskikh volokon* [Paper from synthetic fibres] Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1971, 184 p.
- [3] Ivanov S.N. *Tekhnologiya bumagi* [Technology of paper]. Moscow: Shkola bumagi [School of Paper], 2006, 696 p.
- [4] Flyate D.M. *Svoystva bumagi* [Paper properties]. Sankt-Peterburg: Mir i sem'ya-95 [Peace and Family-95], 1999, 384 p.
- [5] Monkrieff R.W. *Khimicheskiye volokna* [Chemical fibres]. Moscow: Legkaya industriya [Light Industry], 1964, 606 p.
- [6] Sadov F.I., Korchagin M.V., Matetskii A.I. *Khimicheskaya tekhnologiya voloknistykh materialov* [Chemical technology of fibrous materials]. Moscow: Legkaya industriya. [Light Industry], 1968, 784 p.
- [7] *Khimicheskie volokna* [Chemical fibers]. Ed. A.A. Konkin. Moscow: Gos. nauch.-tekhn. izd. khimicheskoy literatury, 1958, p. 52.
- [8] Perepelkin K.E. *Istoriya i khronologiya razvitiya khimicheskikh volokon v mire* [History and chronology of the development of chemical fibers in the world]. *Khimicheskie volokna* [Chemical Fibers], 2002, no. 5, pp. 3–11.
- [9] Perepelkin K.E. *Proshloe, nastoyashchee i budushchee khimicheskikh volokon* [The past, present and future of chemical fibers]. Moscow: MGTU, 2004, 208 p.
- [10] Ivanov S.N., Gorskii G.M. *Sinteticheskie volokna iz polivinilovogo spirta v bumazhnom proizvodstve* [Synthetic fibers from polyvinyl alcohol in paper production]. *Bumazhnaya promyshlennost'* [Paper Industry], 1964, no. 1, pp. 4–6.
- [11] Frantsevich I.N. *Kompozitsionnye materialy voloknistogo stroeniya* [Composite materials of fibrous structure]. Ed. I.N. Frantsevich, D.M. Carpina. Kiev: Naukova Dumka, 1970, 400 p.
- [12] Smolin A.S. *Mezhvolokomnye svyazi i makrostruktura bumagi i kartona* [Interfiber connection and macrostructure of paper and cardboard]. Abstract of the dis. ... Dr. Sci. (Tech.): 05.21.03. Saint Petersburg, 1999.
- [13] Security Paper highly resistant to double folding and method for making same. Pat. US2007/0164556 A1, Inventors: Henri Rosset, Pierre Doublet, Assignee: Arjowiggins; claimed 29.12.2004, publ. 19.07.2007.
- [14] Fibrous substrate for insert including an antenna. Pat. US2010/0321248 A1, Inventors: Sandrine Rancien, Celine Desnous, Assignee: Arjowiggins; claimed 04.07.2004, publ. 23.12.2010.
- [15] Kurkova E.V., Ivanov G.E., Mart'yanova O.S. *Bumaga s sinteticheskimi voloknami* [Paper with synthetic fiber]. Materialy III Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov», posvyashchennoy pamyati professora V.I. Komarova. Arkhangel'sk, SAFU, 9–11 sentyabrya 2015 g. [Proceedings III International Conference in memory of Professor Valery Komarov «The issues in mechanics of pulp and paper materials»]. Arkhangel'sk, SAFU, 2015, pp. 88–93.
- [16] Krylatov I.A., Koverninskiy I.N. *Prokleika bumagi* [Paper sizing], Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1987, 288 p.
- [17] Vdovina O.S. *Poverkhnostnaya prokleyka bumagi i kartona sintezirovannym polimernym kleem* [Surface sizing of paper and paperboard with synthesized polymeric glue]. Abstract of diss. ... Cand. Sci. (Tech.): 05.21.03. Krasnoyarsk, 2016, 182 p.

- [18] Akim E.L. *Sinteticheskiye polimery v bumazhnoy promyshlennosti* [Synthetic polymers in the paper industry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest Industry], 1986, 248 p.
- [19] *Khimiya v TsBP: Sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Chemistry in the pulp and paper industry]. Sankt-Peterburg, SPbGTU, 11–12 dekabrya 2008 g. Ed. A.N. Ivanov. Saint Petersburg: SPbGTU, 2008, 88 p.
- [20] Banknote-paper / Diamone. URL: <https://www.security.arjowiggins.com/banknote-paper/diamone> (accessed 24.07.2018).
- [21] Khomutinnkov N.V., Kurkova E.V., Govyazin I.O., Ivanov G.E., Mart'yanova O.S. *Gryazestoykaya bumaga dlya banknot*. [Anti-pollution type paper for banknotes]. Tsellyuloza. Bumaga. Karton [Cellulose. Paper. Cardboard], 2016, no. 9, pp. 50–54.

## Authors' information

**Mart'yanova Ol'ga Sergeevna** — Research Scientist of the Department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Martyanova\_O\_S@goznak.ru

**Khomutinnikov Nikolay Vasil'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Head of the department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Homutinnikov\_N\_V@goznak.ru

**Kurkova Elena Vladimirovna** — Cand. Sci. (Tech.), Deputy Manager of Department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Kurkova\_E\_V@goznak.ru

**Ivanov Gennadiy Egorovich** — Cand. Sci. (Tech.), Senior Research Scientist of the Department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Ivanov\_G\_E@goznak.ru

**Govyazin Igor' Olegovich** — Senior Research Scientist of the Department of Paper Technology at the Research and Development Institute — branch of JSC «Goznak», Govyazin\_I\_O@goznak.ru

**Kononov Georgiy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associated 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

Received 23.05.2018.

Accepted for publication 30.08.2018.



## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ УЧЕТА НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ РАЗНЫХ ТИПОВ

**О.М. Полещук**

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

Для эффективной оценки параметров технических систем недостаточно учитывать неопределенность только в виде случайности и принимать решения только на основе измерения физических значений этих параметров. С целью снижения риска ошибок привлекаются опытные эксперты, которые оценивают параметры, выделяя базовые лингвистические значения. Для получения качественной модели реального процесса необходимо учитывать оба типа информации и возникающие при этом разные типы неопределенности. В качестве моделей экспертного оценивания параметров рассматриваются семантические пространства с определенными свойствами функций принадлежности, которые были сформулированы в результате теоретических исследований и практических применений этих пространств в проблемных областях с активным участием человека-эксперта. Разработанные автором статьи методы построения моделей экспертного оценивания параметров и количественные показатели качества этих моделей позволяют создавать лингвистические шкалы, которые вносят в процедуру оценивания минимум нечеткости при максимальной согласованности информации, поступающей от разных экспертов. Приведенный практический пример демонстрирует эффективность применения разработанных моделей для получения результата, который согласуется с опытом экспертов и может с успехом применяться для поддержки принятия решений.

**Ключевые слова:** семантическое пространство, параметры технических систем, экспертная оценка

**Ссылка для цитирования:** Полещук О.М. Повышение эффективности оценки параметров технических систем на основе учета неопределенности разных типов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 121–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-121-128

Для измерения количественных (числовых) параметров технических систем используются шкалы: абсолютная, отношений, интервалов, разностей. Значения количественных параметров, измеренные в этих шкалах, называются физическими значениями параметров. Для эффективной оценки параметров и принятия решений на их основе достаточно часто привлекаются эксперты, которые дополняют полученную информацию, исходя из собственного опыта и знаний [1, 2].

### Цель работы

Цель работы — в качестве моделей экспертного оценивания параметров рассмотреть семантические пространства с определенными свойствами функций принадлежности, которые были сформулированы в результате теоретических исследований и практических применений этих пространств в проблемных областях с активным участием человека-эксперта.

### Материалы и методы

Опытный эксперт на множестве значений параметров выделяет ряд эталонных значений («малый», «средний», «большой» и т. д.), а физические (числовые) значения параметров рассматривает относительно этого ряда. Например, в работе [3] для оценки параметра «давление пара на входе» (с областью изменения [4–7]) изделия

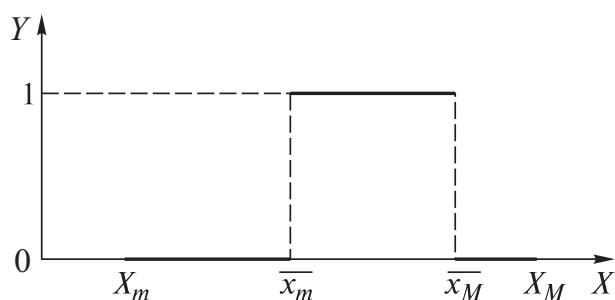
«подогреватель высокого давления» (которое предназначается для повышения КПД турбоустановки) используется лингвистическая шкала с уровнями «малое давление пара», «давление, близкое к 4», «большое давление пара».

Таким образом, физические значения параметров дополняются оценками экспертов, которые употребляют для этого слова профессионального языка — значения (уровни) лингвистических шкал. Значения числовых параметров, измеренные в лингвистических шкалах, называются лингвистическими значениями параметров. Числовой параметр, с одной стороны, имеет физические значения, измеренные техническим прибором, а с другой — лингвистические значения, измеренные экспертом.

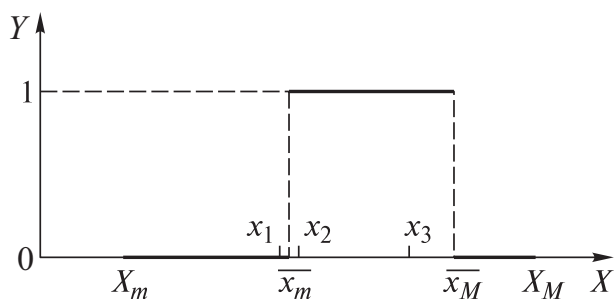
Для формализации экспертных оценок предлагается использовать аппарат теории нечетких множеств, который позволяет моделировать плавность переходов от одного понятия к другому, свойственную мышлению человека-эксперта, и выражать степень его уверенности в процессе принятия решений.

Поясним сказанное на простом примере.

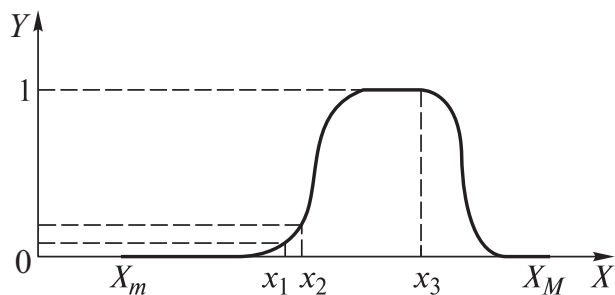
Пусть некоторый параметр определен на универсальном множестве  $X$  и принимает значения от  $X_m$  до  $X_M$ . Тогда, исходя из содержательного смысла задачи, понятие «допустимые значения параметра» может быть определено с помощью множества  $A$ , характеристическая функция которого представлена на рис. 1.



**Рис. 1.** Характеристическая функция множества  $A$ , формализующего понятие «допустимые значения параметра»  
**Fig. 1.** The characteristic function of the set  $A$  which formalizes the concept of «permissible parameter values»



**Рис. 2.** Характеристическая функция множества  $A$ , формализующего понятие «допустимые значения параметра», и три значения параметра  
**Fig. 2.** The characteristic function of the set  $A$  which formalizes the concept of «allowed parameter values» and three parameter values



**Рис. 3.** Функция принадлежности нечеткого множества  $\tilde{A}$ , формализующего понятие «допустимые значения параметра»  
**Fig. 3.** The membership function of a fuzzy set  $\tilde{A}$  that formalizes the concept of «allowed parameter values»

Такая формализация обладает существенным недостатком: при описании объектов с пограничными значениями параметра эксперт испытывает трудности в связи со скачкообразным переходом от одного физического значе-

ния параметра к другому. Теория множеств и соответствующая ей булева логика составляют базу классической математики и всего, что сделано на ее основе, вплоть до современных компьютерных процессоров. Модели сложных технических и физических систем, химических процессов хорошо описывались на этом языке и удачно реализовывались на компьютерах. Трудности заключались только в недостаточном быстродействии, недостаточной памяти и других технических проблемах реализации этих моделей.

Ситуация изменилась коренным образом, когда возникла необходимость учитывать особенности восприятия, оценки и анализа информации человеком как полноправной части моделируемой системы.

Рассмотрим рис. 1 с точки зрения описания ситуации человеком.

Отметим три значения параметра:  $x_1, x_2, x_3$ , представленные на рис. 2.

Очевиден некоторый парадокс: значения  $x_1$  и  $x_2$  для модели являются различными, а значения  $x_2$  и  $x_3$  — одинаковыми (по отношению к понятию «допустимые значения параметра», формализованному с помощью множества  $A$ ). Таким образом, компьютерная модель может «видеть» фактически близкие ситуации как разные, а физически разные — как одинаковые. Если нет однозначного правила (модели) вычисления граничных значений  $x_m$  и  $x_M$ , данная ситуация может привести к тому, что выводы, полученные при анализе такого рода моделей, не будут соответствовать представлениям экспертов.

В этом несоответствии языка классической теории множеств и способа мышления человека и кроется одна из причин неудовлетворительных попыток формализации опыта экспертов в рамках данной теории и появления теории нечетких множеств.

Мы можем определить понятие «допустимые значения параметра» как нечеткое множество  $\tilde{A}$ , функция принадлежности которого представлена на рис. 3. Как видно из рисунка, функция принадлежности, в отличие от характеристической функции, принимает весь спектр значений от нуля до единицы, а не только крайние значения. Исчезает скачкообразный переход от понятия «значение не принадлежит» к понятию «значение принадлежит».

Сравнивая рис. 2 и 3, можно заметить исчезновение указанного выше парадокса: значения  $x_1$  и  $x_2$  при формализации с помощью нечеткого множества видятся моделью как близкие, а значения  $x_2$  и  $x_3$  — как разные, что полностью совпадает с экспертной оценкой.

## Формализация лингвистических шкал для оценки числовых параметров на основе полных ортогональных семантических пространств

Пусть  $X$  — некоторое множество элементов  $x$ ,  
 $\mu_{\tilde{A}}(x): X \rightarrow [0, 1]$ .

Нечетким множеством  $\tilde{A}$  называется множество пар вида  $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)): x \in X\}$ ; при этом значение  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  называется степенью принадлежности  $x$  к  $\tilde{A}$  [4]. Согласно определению, задание нечеткого множества  $\tilde{A}$  эквивалентно заданию его функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$ .

Нечетким числом  $\tilde{A}$  называется нечеткое множество, имеющее функцию принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x): R \rightarrow [0, 1]$ .

Одним из основных понятий теории нечетких множеств является понятие нечеткой переменной [5].

Нечеткой переменной называется тройка

$$\{X, U, \tilde{A}\},$$

где  $X$  — название переменной;  $U$  — область ее определения (универсальное множество);  $\tilde{A}$  — нечеткое множество универсального множества, описывающее возможные значения нечеткой переменной.

На основе понятия нечеткой переменной вводится понятие лингвистической переменной [5].

Лингвистической переменной называется пятерка  $\{X, T(X), U, V, S\}$ ,

где  $X$  — название переменной;

$T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$  — терм-множество

переменной  $X$ , т. е. множество термов, или названий лингвистических значений, переменной  $X$  (каждое из этих значений — нечеткая переменная со значениями из универсального множества  $U$ );  $V$  — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной  $X$ ;  $S$  — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из  $T(X)$  нечеткое подмножество универсального множества  $U$ .

Лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством называется семантическим пространством.

Построению лингвистических переменных посвящено достаточно много работ ([6–15]). В более ранних работах из этого списка показано, что необходимо ввести определенные свойства лингвистических переменных, а в более поздних эта необходимость доказана теоретическими исследованиями и практическим применением.

Требования к функциям принадлежности  $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$  термов семантических пространств были сформулированы в работе [16]:

1. Для каждого понятия  $X_l, l = \overline{1, m}$  существует  $\hat{U}_l \neq \emptyset$ , где  $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$  есть точка или отрезок.
2. Пусть  $\hat{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ , тогда  $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$  не убывает слева от  $\hat{U}_l$  и не возрастает справа от  $\hat{U}_l$ .

3. Функции  $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$  имеют не более двух точек разрыва первого рода.

4. Для каждого  $x \in U$   $\sum_{l=1}^m \mu_l(x) = 1$ .

Семантические пространства, функции принадлежности которых удовлетворяют свойствам 1–4, называются полными ортогональными семантическими пространствами (ПОСП) [16] и используются в настоящей работе в качестве моделей экспертного оценивания числовых параметров в лингвистической шкале. Выбор семантических пространств, обладающих свойствами, перечисленными выше, подкреплен проведенными теоретическими исследованиями и практическим применением в различных областях деятельности человека [17–20].

В работе [21] разработаны методы построения таких моделей на основе экспертного опроса. Для построения модели экспертного оценивания числового параметра  $X$ , принимающего значения на множестве  $U = [a, b]$ , привлекается эксперт, который определяет типичные значения  $(x_l^1, x_l^2)$  этого параметра для каждого уровня  $X_l, l = \overline{1, m}$  терм-множества  $T(X) = \{X_1, X_2, \dots, X_m\}$ . Тогда функции принадлежности  $\mu_l, l = \overline{1, m}$  имеют вид

$$\mu_l(x) \equiv \left( a, x_1^2, 0, \frac{x_2^1 - x_1^2}{2} \right);$$

$$\mu_l(x) \equiv \left( x_l^1, x_l^2, \frac{x_l^1 - x_{l-1}^2}{2}, \frac{x_{l+1}^1 - x_l^2}{2} \right),$$

$$l = \overline{2, m-1};$$

$$\mu_m(x) \equiv \left( x_m^1, b, \frac{x_m^1 - x_{m-1}^2}{2}, 0 \right).$$

В скобках стоят четыре параметра, которые полностью определяют функции принадлежности. Первые два параметра — абсциссы соответственно левого и правого концов верхнего основания трапеции, которая является графиком функции принадлежности. Последние два параметра — длины соответственно левого и правого крыльев трапеции. Нечеткое число, графиком функции принадлежности которого является трапеция, называется *T*-числом. Нечеткое число, графиком функции принадлежности которого является треугольник, называется треугольным числом. Треугольное число является частным случаем *T*-числа и определяется тремя параметрами.

Очевидно, что для оценивания числовых параметров эксперты могут применять лингвистические шкалы с разными множествами значений (термов). Одни множества доставляют трудности экспертам в связи с недостаточностью значений, другие — в связи с избыточностью значений. В результате этих трудностей следует ожидать увеличения нечеткости и рассогласованности поступающей от экспертов информации.

При выборе лингвистической шкалы естественным является вопрос: «По каким критериям должен производиться выбор оптимального множества значений этой шкалы?». В работе [18] определены следующие критерии оптимальности.

1. Под оптимальным множеством значений лингвистической шкалы понимается такое множество значений, используя которое эксперты испытывают минимальную неопределенность при оценивании (описании) реальных объектов.

2. Под оптимальным множеством значений лингвистической шкалы понимается такое множество значений, которое обеспечивает максимальную согласованность экспертной информации.

В [18] задача определения оптимального множества значений лингвистической шкалы решена только в условиях первого критерия.

Под степенью неопределенности, которую испытывают эксперты при оценивании (описании) реальных объектов, в работе [16] понимается степень нечеткости ПОСП, которая моделирует экспертные оценочные (описательные) процедуры:

$$\zeta = \frac{1}{|U|} \int_U f(\mu_{l_1}(x) - \mu_{l_2}(x)) dx,$$

где  $\mu_{l_1}(x) = \max_{1 \leq l \leq m} \mu_l(x)$ ;  $\mu_{l_2}(x) = \max_{\substack{1 \leq l \leq m \\ l \neq l_1}} \mu_l(x)$ ;

$f$  убывает,  $f(0) = 1, f(1) = 0$ . Если  $f(x) = 1 - x$ , то

$$\zeta = \frac{1}{|U|} \int_U \left( 1 - (\mu_{l_1}(x) - \mu_{l_2}(x)) \right) dx = \frac{|\bar{U}|}{2|U|},$$

где  $\bar{U} = U - \bigcup_{l=1}^m \hat{U}_l$ .

Если есть  $k$  моделей экспертного оценивания некоторого параметра с функциями принадлежности  $\mu_{il}(x), i = \overline{1, k}, l = \overline{1, m}$ , то согласованность [16] этих моделей будем определять с помощью коэффициента

$$\kappa = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m \frac{\int_0^1 \min(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) dx}{\int_0^1 \max(\mu_{1l}(x), \mu_{2l}(x), \dots, \mu_{kl}(x)) dx}.$$

Сформулируем терм-множества  $T_1 = \{X_1, X_2\}, T_2 = \{Y_1, Y_2, Y_3\}, \dots, T_{n-1} = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n\}$  лингвистических значений числового параметра  $X$ , которые могут применяться для его оценивания. После этого  $k$  экспертам предлагается оценить данный параметр последовательно в рамках каждого из сформулированных множеств его лингвистических значений.

Обозначим через

$$P_i^p, i = \overline{1, n-1}, p = \overline{1, k}$$

модель экспертного оценивания числового параметра  $X$   $p$ -м экспертом в рамках терм-множества  $T_i$  (ПОСП  $p$ -го эксперта с терм-множеством  $T_i$ ), а через  $P_i, i = \overline{1, n-1}$ , — обобщенную модель экспертного оценивания или описания характеристики  $X$  в рамках терм-множества  $T_i$ . Методы построения обобщенных моделей по результатам группового оценивания разработаны в [20].

Обозначим через  $\xi(T_i), i = \overline{1, n-1}$ , степень нечеткости модели  $P_i, i = \overline{1, n-1}$ , а через  $\kappa_i$  — показатель общей согласованности моделей  $P_i^p, p = \overline{1, k}$ .



Построим для показателя согласованности ПОСП с универсальным множеством  $[0, 1]$ , термами «низкий», «высокий» и функциями принадлежности термов  $\mu_1(x)$ ,  $\mu_2(x)$  (например, не ограничивая общности  $\mu_1(x) \equiv (0; 0,25; 0; 0,50)$ ,  $\mu_2(x) \equiv (0,75; 1; 0,25; 0)$ ). Построим для степени нечеткости ПОСП с универсальным множеством  $[0, 0,5]$ , термами «малая», «большая» и функциями принадлежности термов  $\eta_1(x)$ ,  $\eta_2(x)$  (например, не ограничивая общности  $\eta_1(x) \equiv (0; 0,20; 0; 0,20)$ ,  $\eta_2(x) \equiv (0,40; 0,50; 0,20; 0)$ ).

Вычислим в рамках всех множеств лингвистических значений характеристики значения принадлежности степеней нечеткости обобщенных моделей к терму «малая» —  $\eta_i(\xi(T_i))$ ,  $i = \overline{1, n-1}$  и значения принадлежности показателей согласованности моделей экспертов к терму «высокий» —  $\mu_2(\kappa_i)$ ,  $i = \overline{1, n-1}$ .

Определим

$$\theta_i = \min[\eta_i(\xi(T_i)), \mu_2(\kappa_i)], \quad i = \overline{1, n-1}.$$

Тогда множество  $T_j$  лингвистических значений характеристики считается оптимальным множеством, если  $\theta_j = \max_{1 \leq i \leq n-1} \theta_i$ .

### Пример определения степени аналогичности технических изделий по некоторому параметру на основе полных ортогональных семантических пространств

Для определения степени аналогичности изделий со значениями некоторого параметра, равными соответственно  $a$  и  $b$ , обычно используется формула [3]

$$\rho_{ab} = 1 - \frac{|a-b|}{A-B}, \quad (1)$$

где  $[A, B]$  — область значений параметра.

Достоинством формулы (1) является простота вычислений, а недостатком — то, что степень аналогичности зависит только от разности значений параметра и не зависит от места расположения этих значений на всей области  $[A, B]$ . Вследствие данного недостатка полученные по формуле (1) результаты не всегда согласуются с опытом эксперта. Дело в том, что опытный эксперт при определении аналогичности изделий выделяет на множестве параметра эталонные значения и сравнение изделий осуществляет на их основе. Например, эксперт на основе своего опыта выделяет малые значения параметра, сред-

ние и большие значения, а аналогичность изделий определяет исходя из того, к какому из лингвистических значений параметра принадлежит ее числовое значение. В работе [3] приведен пример определения степени аналогичности изделий с названием «подогреватель высокого давления» по параметру «давление пара на входе». Параметр имеет область определения  $[1, 1; 6, 7]$ . В примере определяются степень аналогичности изделий со значениями 1,1 и 1,5 и степень аналогичности изделий со значениями 6,1 и 6,6. Формула (1) дает для первой пары изделий степень аналогичности 0,93, а для второй пары степень аналогичности 0,91. В работе [3] утверждается, что эти результаты не согласуются с опытом экспертов. Более того, изделия первой пары, согласно анализу экспертного опыта проектирования аналогичных изделий, значительно меньше схожи между собой, чем изделия второй пары.

В [3] предлагается другая формула для определения степени аналогичности изделий:  $r(a/b) = \mu_b(a)$ . Согласно этой формуле, нужно взять функцию принадлежности нечеткого множества «около  $b$ » и найти степень принадлежности значения  $a$  к этому множеству. Недостатком данной формулы является отсутствие свойства симметричности, т. е.  $r(a/b) \neq r(b/a)$ .

В [15, 20, 21] приводится новая формула определения степени аналогичности изделий на основе функций принадлежности ПОСП с термами «давление, близкое к 4», «большое давление» семантического пространства «давление пара на входе», которая лишена этого недостатка.

Будем считать  $U = [A, B]$  областью значений параметра. Эксперт, исходя из своего опыта, выделяет  $m$  лингвистических значений данного параметра и для каждого лингвистического значения указывает соответствующие типичные числовые значения. Типичные значения могут быть указаны одним числом или целым промежутком. В зависимости от этого функции принадлежности термов  $\mu_l(x)$ ,  $l = \overline{1, m}$  являются функциями принадлежности  $T$ -чисел или треугольных чисел.

Назовем  $|\mu_l(a) - \mu_l(b)|$  мерой потери информации для значений  $a$  и  $b$  в рамках  $l$ -го термина,  $l = \overline{1, m}$ . Определим степень аналогичности изделий со значениями  $a$  и  $b$  по рассматриваемому параметру по формуле

$$\eta_{ab} = 1 - \frac{\sum_{l=1}^m |\mu_l(a) - \mu_l(b)|}{2}. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что если  $a$  и  $b$  принадлежат области, для которой  $\mu_l(a) = \mu_l(b) = 1$ , то  $\eta_{ab} = 1$ .

Если  $a$  и  $b$  принадлежат области неопределенности двух соседних функций

$$\begin{aligned} &(0 < \mu_l(a) < 1, 0 < \mu_{l+1}(a) < 1, 0 \\ &< \mu_l(b) < 1, 0 < \mu_{l+1}(b) < 1) \end{aligned}$$

или одно из значений принадлежит области  $\mu_l(a) = 1$  или  $\mu_l(b) = 1$ , а другое значение принадлежит области неопределенности соседней функции, то

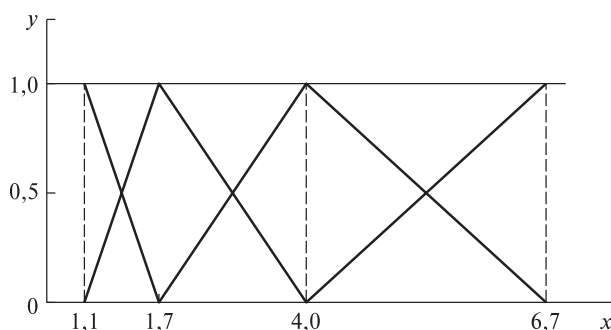
$$\eta_{ab} = 1 - |\mu_l(a) - \mu_l(b)|. \quad (3)$$

Формула (3) следует из свойств функций принадлежности терм-множества ПОСП

$$\begin{aligned} \mu_l(a) + \mu_{l+1}(a) &= 1, \mu_l(b) + \mu_{l+1}(b) = 1 \Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_l(a) - \mu_l(b) &= \mu_{l+1}(b) - \mu_{l+1}(a) \Rightarrow \\ \Rightarrow |\mu_l(a) - \mu_l(b)| &= |\mu_{l+1}(a) - \mu_{l+1}(b)|. \end{aligned}$$

Если сравнивать формулу (3) с формулой (1), которая традиционно применяется для нахождения степени аналогичности, то оказывается, что они очень похожи, только формула (1) оперирует с самими значениями параметра, а формула (3) — со значениями функций принадлежности этих значений. В формуле (1) присутствует  $(B - A)$  — длина промежутка значений параметра, а в формуле (3) — единичная длина области значений функций принадлежности.

В остальных ситуациях расположения значений  $a$  и  $b$   $\eta_{ab} = 0$ .



**Рис. 4.** Функции принадлежности терм-множеств семантического пространства «давление пара на входе» изделия «подогреватель высокого давления»

**Fig. 4.** Membership functions of term sets of the semantic space «vapor pressure at the inlet» of the product «high pressure heater»

Используя функции принадлежности ПОСП «давление пара на входе», изображенные на рис. 4, вычислим степень аналогичности изделий со значениями давления пара 1,1 и 1,5 и степень аналогичности изделий со значениями давления пара 6,1 и 6,6.

Получим следующие результаты:  $\eta_{1,1;1,5} = 0,34$ ;  $\eta_{6,1;6,6} = 0,82$ . В соответствии с [3] эти результаты согласуются с опытом экспертов.

## Выводы

Как показывает анализ процесса принятия решений, для эффективной оценки параметров технических систем недостаточно учитывать один вид неопределенности, измеряя только физические значения параметров с помощью приборов. Опытный эксперт тоже измеряет параметры, но только в другой шкале — лингвистической, и эту информацию необходимо формализовать и учитывать, если мы хотим получить качественную модель реального процесса. В качестве моделей экспертного оценивания параметров рассматривались семантические пространства с определенными свойствами функций принадлежности, которые были сформулированы в результате теоретических исследований и практического применения этих пространств в проблемных областях с активным участием человека-эксперта. Разработанные автором статьи методы построения моделей экспертного оценивания параметров и количественные показатели качества этих моделей позволяют создавать лингвистические шкалы, которые вносят в процедуру оценивания минимум нечеткости при максимальной согласованности информации, поступающей от разных экспертов. Приведенный практический пример демонстрирует эффективность применения разработанных моделей для получения результата, который согласуется с опытом экспертов и может с успехом применяться для поддержки принятия решений.

## Список литературы

- [1] Экспертные системы. Принципы работы и примеры / ред. Р. Форсайт. М.: Радио и связь, 1987. 224 с.
- [2] Нильсон Н. Принципы искусственного интеллекта. М.: Радио и связь, 1985. 376 с.
- [3] Мальшев Н.Г., Берштейн Л.С., Боженюк А.В. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР. М.: Энергоатомиздат, 1991. 136 с.
- [4] Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control, 1965, no. 8, pp. 338–352.
- [5] Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning // Information Sciences, 1975, v. 8, pp. 199–249.
- [6] Hwang C.L., Lin N.J. Group decision making under multiple criteria. Berlin: Springer, 1987. 400 p.
- [7] Ryzhov A.P., Averkin A.N. Axiomatic definition of degree of fuzziness of a linguistic scale and its basic characteristics // II All-Union conference «Artificial intellect–90». Minsk, 1990, v. 1, pp. 162–165.
- [8] Ryzhov A.P. Degree of fuzziness of a linguistic scale and its characteristics // Fuzzy systems of support of a decision making / ed. A.N. Averkin. Minsk, 1988, pp. 82–92.
- [9] Cordon A., Herrera F., Zwir I. Linguistic modeling by hierarchical systems of linguistic rules // IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2002, v. 10, pp. 2–20.

- [10] Fan Z.P., Wang X.R. Approach to solve assignment problems with linguistic assessment information // *Journal of Systems Engineering*, 2004, v. 19 (1), pp. 14–19.
- [11] Dai Y.Q., Xu Z.S., Da Q.L. New evaluation scale of linguistic information and its application // *Chinese Journal of Management Science*, 2008, v. 16 (2), pp. 145–149.
- [12] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, v. 26, no. 3, pp. 1089–1094. DOI: 10.3233/IFS-120702
- [13] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Comparative analysis of expert criteria on the basis of complete orthogonal semantic spaces // *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016. Pp. 369–373. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519784
- [14] Darwish A., Poleshchuk O. A novel intellectual decision support model of careers based on semantic spaces // *Applied Mathematics & Information Sciences*, 2017, v. 11, no. 1, pp. 251–258. DOI:10.18576/amis/110131
- [15] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group // *XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. Pp. 651–654. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970678
- [16] Ryzhov A.P. Theory of fuzzy sets and fuzziness measurement elements. Moscow: Dialog-MGU, 1998. 116 p.
- [17] Алтунин А.Е., Семухин М.В. Модели и алгоритмы принятия решений в нечетких условиях: Тюмень: Тюменский гос. ун-т, 2002. 268 с.
- [18] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications // *Soft Computing in Measurement and Information Acquisition* / eds. L. Reznik, V. Kreinovich Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2003, v. 127, pp. 55–57.
- [19] Полещук О.М., Комаров Е.Г. Методы и модели обработки нечеткой экспертной информации. М.: Энергоатомиздат, 2007. 288 с.
- [20] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. The monitoring of enterprise bankruptcy risk on the basis of complete orthogonal semantic spaces // *XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. Saint-Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. Pp. 837–839. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970739
- [21] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing // *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, v. 268, pp. 1–239.

## Сведения об авторе

Полещук Ольга Митрофановна — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), olga.m.pol@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.05.2018.

Принята к публикации 30.08.2018.

## IMPROVING THE EFFICIENCY OF EVALUATION PARAMETERS IN TECHNICAL SYSTEMS UNDER CONDITIONS OF DIFFERENT TYPES UNCERTAINTY

**O.M. Poleshchuk**

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

olga.m.pol@yandex.ru

For an effective evaluation of the technical systems parameters, it is not enough to take into account uncertainty only in the form of randomness and to make decisions only on the basis of measuring the physical values of these parameters. To reduce the risk of errors the experienced experts are involved, who evaluate the parameters, highlighting the basic linguistic values. To obtain a qualitative model of a real process it is necessary to take into account both types of information and different types of uncertainty. In the paper semantic scopes with certain properties of membership functions that were formulated as a result of theoretical studies and practical applications of these spaces in problem areas with active participation of an expert person are considered as expert evaluation models of parameters. The methods developed by the author of constructing expert evaluation models and quantitative indicators of the quality of these models allowed the development of linguistic scales which introduce a minimum of fuzziness into the evaluation procedure with the maximum consistency of information coming from different experts. The practical example demonstrates the effectiveness of applying the developed models to produce a result that is consistent with the experience of experts and can be successfully applied to support decision making.

**Keywords:** semantic scope, parameters of technical systems, expert evaluation

**Suggested citation:** Poleshchuk O.M. *Povyshenie effektivnosti otsenki parametrov tekhnicheskikh sistem na osnove ucheta neopredelennosti raznykh tipov* [Improving the efficiency of evaluation parameters in technical systems under conditions of different types uncertainty]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 121–128. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-121-128

## References

- [1] *Ekspertnye sistemy. Printsipy raboty i primery* [Expert systems. Principles and examples]. Ed. R. Forsayt. Moscow: Radio i svyaz', 1987, 224 p.
- [2] Nilson N. *Printsipy iskusstvennogo intellekta* [Principles of artificial intelligence]. Moscow: Radio i svyaz', 1985, 376 p.
- [3] Malyshev N.G., Bershtein L.S., Boghenuk A.V. *Nechetkie modeli dlya ekspertnykh sistem v SAPR* [Fuzzy models for expert systems in CAD]. Moscow: Energoatomizdat, 1991, 136 p.
- [4] Zadeh L.A. Fuzzy sets. *Information and Control*, 1965, no. 8, pp. 338–352.
- [5] Zadeh L.A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning. *Information Sciences*, 1975, v. 8, pp. 199–249.
- [6] Hwang C.L., Lin N.J. *Group decision making under multiple criteria*. Berlin: Springer, 1987, 400 p.
- [7] Ryzhov A.P., Averkin A.N. Axiomatic definition of degree of fuzziness of a linguistic scale and its basic characteristics. II All-Union conference «Artificial intellect–90». Minsk, 1990, v. 1, pp. 162–165.
- [8] Ryzhov A.P. Degree of fuzziness of a linguistic scale and its characteristics. *Fuzzy systems of support of a decision making*. Ed. A.N. Averkin. Minsk, 1988, pp. 82–92.
- [9] Cordon A., Herrera F., Zwir I. Linguistic modeling by hierarchical systems of linguistic rules. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2002, v. 10, pp. 2–20.
- [10] Fan Z.P., Wang X.R. Approach to solve assignment problems with linguistic assessment information. *Journal of Systems Engineering*, 2004, v. 19 (1), pp. 14–19.
- [11] Dai Y.Q., Xu Z.S., Da Q.L. New evaluation scale of linguistic information and its application. *Chinese Journal of Management Science*, 2008, v. 16 (2), pp. 145–149.
- [12] Darwish A., Poleshchuk O. New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces. *Journal of Intelligent and Fuzzy Systems*, 2014, v. 26, no. 3, pp. 1089–1094. DOI: 10.3233/IFS-120702
- [13] Poleshchuk O.M., Komarov E.G., Darwish A. Comparative analysis of expert criteria on the basis of complete orthogonal semantic spaces. *Proceedings of the 19th International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2016, pp. 369–373. DOI: 10.1109/SCM.2016.7519784
- [14] Darwish A., Poleshchuk O. A novel intellectual decision support model of careers based on semantic spaces. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 2017, v. 11, no. 1, pp. 251–258. DOI:10.18576/amis/110131
- [15] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. Assessment of the state of plant species in urban environment based on fuzzy information of the expert group. *XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017, pp. 651–654. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970678
- [16] Ryzhov A.P. *Theory of fuzzy sets and fuzziness measurement elements*. Moscow: Dialog-MGU, 1998, 116 p.
- [17] Altunin A., Semukhin M. *Modeli i algoritmy prinyatiya resheniy v nechetkikh usloviyakh* [Models and algorithms of decision-making in fuzzy conditions]. Tumen': Tumen' State University, 2002, 268 p.
- [18] Ryjov A. Fuzzy Linguistic Scales: Definition, Properties and Applications. *Soft Computing in Measurement and Information Acquisition*. Eds. L. Reznik, V. Kreinovich *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2003, v. 127, pp. 55–57.
- [19] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. *Metody i modeli obrabotki nechetkoy ekspertnoy informatsii* [Methods and models for processing fuzzy expert information]. Moscow: Energoatomizdat, 2007, 288 p.
- [20] Poleshchuk O., Komarov E., Darwish A. The monitoring of enterprise bankruptcy risk on the basis of complete orthogonal semantic spaces. *XX IEEE International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM)*. Saint Petersburg: Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2017. 2017, pp. 837–839. DOI: 10.1109/SCM.2017.7970739
- [21] Poleshchuk O., Komarov E. *Expert Fuzzy Information Processing*. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011. V. 268, pp. 1–239.

## Author's information

**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna** — D-r Sci. (Techn.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department of BMSTU (Mytishchi branch), olga.m.pol@yandex.ru

Received 28.05.2018.

Accepted for publication 30.08.2018.



## ПУБЛИКАЦИОННАЯ АКТИВНОСТЬ КАК ИНДИКАТОР РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ. АНАЛИЗ И ПЕРСПЕКТИВЫ

В.С. Шалаев<sup>1</sup>, С.Н. Рыкунин<sup>1</sup>, Г.Н. Федотов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Факультет почвоведения, МГУ

shalaev@mgul.ac.ru

В России научно-исследовательскими работами в интересах лесного комплекса занимаются преимущественно организации и учреждения отраслевого, вузовского и академического сектора. При этом объемы исследований в интересах лесного комплекса находятся на весьма низком уровне. В качестве достаточно объективной и позволяющей проводить сопоставления оценки результативности научно-исследовательских работ рассматриваются сведения из базы Российского индекса научного цитирования по публикационной активности учреждений и организаций, работающих в интересах лесного комплекса. В 2005–2007 гг. в Московском государственном университете леса (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана) проанализировано научно-техническое обеспечение отраслей лесного сектора экономики, выявлен глубокий кризис отраслевой науки. К 2018 г. положение ухудшилось. Публикационная активность, которая в определенной мере может быть принята за индикатор результативности выполняемых научно-исследовательских работ, в 2015–2018 гг. имеет четко выраженную отрицательную динамику. Наблюдается снижение показателей не только у высших учебных заведений, но и у отраслевых НИИ. Присоединение ряда ведущих вузов отраслевой направленности к непрофильным сказывается отрицательным образом на системе подготовки кадров не только для лесного комплекса, но и для отраслевой науки. Подчеркивается необходимость усиления научно-образовательной составляющей в деятельности организаций, работающих в интересах лесного комплекса.

**Ключевые слова:** публикационная активность, лесной комплекс, научно-исследовательская работа

**Ссылка для цитирования:** Шалаев В.С., Рыкунин С.Н., Федотов Г.Н. Публикационная активность как индикатор результативности научно-исследовательских работ. Анализ и перспективы // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2018. Т. 22. № 5. С. 129–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-129-136

В России научно-исследовательскими работами (НИР) в интересах лесного комплекса занимаются преимущественно организации и учреждения отраслевого, вузовского и академического сектора. При этом объемы исследований в интересах лесного комплекса находятся 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 (Финляндия 2 %; Норвегия 3,1 %)» [1]. Даже если это и ошибка, допущенная авторами документа (на с. 13 в [1] говорится, что этот показатель «не превышает 0,1 % от ВВП, создаваемого в лесном комплексе»), уровень расходов на НИОКР является очень низким. Для сравнения: в целом по России внутренние затраты на исследования и разработки составляли в 2016 г. 1,1 % ВВП [2].

В качестве достаточно объективной и, главное, позволяющей проводить сопоставления оценки результативности научно-исследовательских работ можно рассмотреть сведения из базы Российского индекса научного цитирования (РИНЦ) по публикационной активности учреждений и организаций, работающих в интересах лесного комплекса [2]. Публикационная активность ха-

рактеризуется числом публикаций работников научной организации, их цитируемостью, импакт-фактором журналов, в которых опубликованы статьи. Эти показатели играют важную роль в оценке деятельности как отдельных ученых, так научных организаций и учреждений в целом, поэтому их можно рассматривать и при оценке научно-исследовательских работ в интересах лесного комплекса. Тем более что Российский индекс научного цитирования [3], несмотря на некоторые недостатки [4], достаточно успешно функционирует и позволяет составить представление о публикационной активности тех или иных российских исследователей, вузов, научных организаций и учреждений в отечественных и зарубежных научных периодических изданиях.

Еще в 2005–2007 гг. в Московском государственном университете леса (ныне Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана) было проанализировано научно-техническое обеспечение отраслей лесного сектора экономики и выявлен глубокий кризис отраслевой науки [5]. Нельзя сказать, что к 2018 г. положение улучшилось [6]. Научно-исследовательскими работами в интересах лесного комплекса еще занимаются в вузах, при этом часть вузов отраслевой направленности

поглощена непрофильными, что, в свою очередь, неблагоприятно сказывается на результативности работ в интересах отрасли. Академическая наука несколько отдалена от отраслевых задач, лишь отдельные работы некоторых ученых могут быть использованы непосредственно в лесном хозяйстве. Например, из списка 100 самых продуктивных российских ученых, по данным РИНЦ, в разделе «Лесная и деревообрабатывающая промышленность» лишь трое (т. е. 3 % от общего числа) — представители академических институтов, в разделе «Сельское и лесное хозяйство» нет ни одного представителя лесной академической науки [7]. Публикационная активность немногих оставшихся отраслевых научно-исследовательских учреждений оставляет желать лучшего [3, 6].

**Цель работы**

Цель работы — провести анализ публикационной активности, которая в определенной мере может быть принята за индикатор выполняемых научно-исследовательских работ, используя данные базы Российского индекса научного цитирования по публикационной активности учреждений и организаций, работающих в интересах лесного комплекса.

**Результаты и обсуждение**

В системе высшего образования в настоящее время можно выделить лишь три высших учебных заведения отраслевой направленности, работающие в основном в интересах лесного комплекса. Характеризуя результаты научно-исследовательской деятельности числом публикаций, числом цитирований и индексом Хирша по публикациям в РИНЦ, можно привести данные публикационной активности этих высших учебных заведений (табл. 1, 2) [3].

В табл. 1 и 2 не даны сведения о таких крупных вузах, как Поволжский государственный технологический университет, Петрозаводский государственный университет, Казанский национальный исследовательский технологический университет, Братский государственный универ-

Т а б л и ц а 1  
**Публикационная активность вузов, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по данным базы РИНЦ в 2065 российских организациях на середину мая 2018 г.)**  
**Publication activity of universities working mainly in the interests of the forestry complex (according to the RISC database in 2065 Russian organizations as of mid-May 2018)**

| Вуз  | Количество |             | Индекс Хирша по публикациям в РИНЦ |
|--|------------|-------------|------------------------------------|
|  | статей     | цитирований |                                    |
| Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова (ВГЛУ)         | 25367      | 45894       | 57                                 |
| Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С.М. Кирова (СПбГЛУ) | 4808       | 6835        | 27                                 |
| Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛУ)                             | 4285       | 7413        | 36                                 |

ситет и некоторых других вузах, работающих не только в интересах лесного комплекса. Эти вузы политехнического профиля, в их научной деятельности не всегда преобладают интересы лесного комплекса, и сведения о работах по лесному хозяйству не легко вычленишь из общих данных. Здесь также не упомянуты Архангельский государственный технический университет (вошел в структуру Северного (Арктического) федерального университета в 2010 г.), Санкт-Петербургский государственный технологический университет растительных полимеров (вошел в структуру Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна), Московский государственный университет леса (вошел в структуру МГТУ им. Н.Э. Баумана в 2016 г.), Сибирский государственный технологи-

Т а б л и ц а 2  
**Динамика публикаций по данным РИНЦ для трех вузов, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину мая 2018 г.)**  
**Dynamics of publications according to RISC data for three universities working mainly in the interests of the forestry complex (as of mid-May 2018)**

| Вуз    | Годы |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|--------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|        | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| ВГЛУ   | 1012 | 1250 | 1277 | 1071 | 1502 | 1497 | 2189 | 1779 | 1442 | 1080 |
| СПбГЛУ | 214  | 310  | 321  | 316  | 402  | 382  | 530  | 522  | 699  | 526  |
| УГЛУ   | 207  | 209  | 198  | 209  | 271  | 411  | 527  | 477  | 552  | 498  |
| Всего  | 1433 | 1769 | 1796 | 1596 | 2175 | 2290 | 3246 | 2778 | 2693 | 2104 |

ческий университет (вошел в структуру Сибирского государственного университета науки и технологий им. акад. М.Ф. Решетнева в 2016 г.). Эти вузы в настоящее время не являются достаточно автономными (по базе РИНЦ), привести данные по ним не представляется возможным. Присоединение этих вузов к непрофильным сказывается отрицательным образом на системе подготовки кадров не только для лесного комплекса [8], но и для отраслевой науки. Так, результаты оценки публикационной активности выпускающих кафедр Северного (Арктического) федерального университета, работающих в области лесной продукции, подтверждают отрицательную динамику их результативности на фоне деятельности всего университета (данные исследования Е.Р. Бабюк и А.С. Чекушкина, студентов Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана). В табл. 2 в качестве примера приведены данные, характеризующие динамику публикаций за 2008–2017 гг. трех вузов. В целом она отражает общую тенденцию НИР, выполняемых в вузах в интересах лесного комплекса.

В табл. 3 и 4 приведены аналогичные данные по научно-исследовательским организациям (учреждениям) Российской академии наук (РАН). При этом в связи с определенной реструктуризацией РАН и соответствующей корректировкой базы данных РИНЦ из приведенных данных выпал достаточно продуктивный Институт леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН. Он вошел в структуру Красноярского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, поэтому привести автономные данные (по базе РИНЦ) о публикационной результативности Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения РАН не представляется возможным. В этом случае, вероятнее всего, динамика результативности по трем указанным институтам РАН также отражает общую тенденцию НИР, выполняемых в интересах лесного комплекса.

Т а б л и ц а 3

**Публикационная активность организаций (учреждений) РАН, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по данным базы РИНЦ в 2065 российских организациях на середину мая 2018 г.)**

**Publication activity of organizations (institutions) of the Russian Academy of Sciences, working mainly in the interests of the forestry complex (according to the RISC database in 2065 Russian organizations as of mid-May 2018)**

| Организация   | Количество |             | Индекс Хирша по публикациям в РИНЦ |
|---|------------|-------------|------------------------------------|
|   | статей     | цитирований |                                    |
| Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения | 2200       | 4352        | 23                                 |
| Институт лесоведения  | 1254       | 8255        | 37                                 |
| Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов  | 1056       | 7357        | 37                                 |

Аналогичные показатели приведены для отраслевых научно-исследовательских институтов (НИИ) (табл. 5, 6) и ряда прочих организаций (учреждений), работающих в основном в интересах лесного комплекса (табл. 7), выбранных из базы данных РИНЦ в 2065 российских организациях.

Сведений о публикациях известнейших в свое время отраслевых научно-исследовательских институтов — Центрального научно-исследовательского института механической обработки древесины (ЦНИИМОД), Всероссийского проектно-конструкторского и технологического института мебели (ВПКТИМ) и ряда других организаций в базе Научной электронной библиотеки не было найдено [3].

Т а б л и ц а 4

**Динамика публикаций по данным РИНЦ для организаций (учреждений) РАН, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину мая 2018 г.)**

**Dynamics of publications according to RISC for organizations (institutions) of the Russian Academy of Sciences, working mainly in the interests of the forest complex (as of mid-May 2018)**

| Организация   | Годы |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения | 107  | 116  | 63   | 97   | 146  | 176  | 204  | 352  | 364  | 323  |
| Институт лесоведения  | 47   | 49   | 57   | 50   | 87   | 67   | 98   | 64   | 98   | 127  |
| Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов  | 66   | 37   | 49   | 66   | 83   | 83   | 57   | 52   | 84   | 91   |
| Всего   | 220  | 202  | 169  | 213  | 316  | 300  | 359  | 468  | 546  | 541  |

Т а б л и ц а 5

**Публикационная активность отраслевых НИИ, работающих в основном в интересах  
лесного комплекса (по данным базы РИНЦ в 2065 российских организациях  
на середину мая 2018 г.)**

**Publication activity of sectoral research institutes working mainly in the interests of the forestry complex  
(according to the RISC database in 2065 Russian organizations as of mid-May 2018)**

| Отраслевой НИИ  | Количество |             | Индекс Хирша<br>по публикациям<br>в РИНЦ |
|---|------------|-------------|--|
|   | статей     | цитирований |  |
| ВНИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии  | 2370       | 5017        | 27                                       |
| ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства  | 994        | 2347        | 21                                       |
| Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства   | 280        | 523         | 9  |
| Дальневосточный НИИ лесного хозяйства   | 119        | 242         | 8  |
| Государственный научный центр лесопромышленного комплекса   | 94         | 166         | 6  |
| Северный НИИ лесного хозяйства  | 91         | 2181        | 5  |
| НИИ горного лесоводства и экологии леса   | 27         | 58          | 5  |
| ВНИИ противопожарной охраны лесов и механизации лесного хозяйства   | 19         | 19          | 3  |
| ЦНИИ бумаги   | 18         | 12          | 1  |
| ВНИИ химизации лесного хозяйства  | 12         | 12          | 2  |
| Центральный научно-исследовательский и проектный институт лесохимической промышленности                                 | 11         | 30          | 3  |
| Всероссийский научно-исследовательский и информационный центр по лесным ресурсам  | 2          | 125         | 2  |
| Центральный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт механизации и энергетики лесной промышленности | 2          | 0           | 0  |
| Волжский НИИ целлюлозно-бумажной промышленности   | 0          | 0           | Нет данных                               |
| Научно-исследовательский и проектный институт «Научстандарт-дом-Гипролеспром»   | 0          | 0           | »  |
| Научно-исследовательский институт ВНИИДРЕВ  | 0          | 0           | »  |
| ЦНИИ фанеры   | 0          | 0           | »  |
| Пермский НИИ целлюлозно-бумажной промышленности «Лигнокор»  | 0          | 0           | »  |

Т а б л и ц а 6

**Динамика публикаций по данным РИНЦ для шести отраслевых НИИ, работающих  
в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину мая 2018 г.)**

**Dynamics of publications according to RISC data for six branch research institutes working mainly  
in the interests of the forest complex (as of mid-May 2018)**

| Отраслевой НИИ  | Годы |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| ВНИИ лесной генетики, селекции и биотехнологии            | 49   | 36   | 59   | 38   | 56   | 75   | 209  | 149  | 94   | 100  |
| ВНИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства          | 62   | 41   | 39   | 67   | 53   | 92   | 138  | 87   | 87   | 67   |
| Санкт-Петербургский НИИ лесного хозяйства                 | 7    | 11   | 15   | 14   | 30   | 39   | 54   | 33   | 27   | 20   |
| Дальневосточный НИИ лесного хозяйства                     | 10   | 1    | 7    | 4    | 5    | 12   | 12   | 15   | 18   | 13   |
| Государственный научный центр лесопромышленного комплекса | 1    | 2    | 5    | 3    | 50   | 7    | 3    | 8    | 7    | 3    |
| Северный НИИ лесного хозяйства                            | 5    | 1    | 2    | 6    | 10   | 9    | 6    | 16   | 10   | 15   |
| Всего   | 134  | 92   | 128  | 132  | 207  | 234  | 422  | 308  | 243  | 218  |



Т а б л и ц а 7

**Публикационная активность прочих организаций, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по данным базы РИНЦ в 2065 российских организациях на середину мая 2018 г.)**

**Publication activity of other organizations working mainly in the interests of the forest complex (according to the RISC database in 2065 Russian organizations as of mid-May 2018)**

| Организация   | Количество |             | Индекс Хирша по публикациям в РИНЦ |
|---|------------|-------------|------------------------------------|
|   | статей     | цитирований |                                    |
| Федеральное агентство лесного хозяйства   | 65         | 224         | 7                                  |
| Российское лесное общество  | 26         | 45          | 4                                  |
| Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана»  | 22         | 370         | 8                                  |
| Научно-внедренческая фирма «Лесма»  | 19         | 39          | 4                                  |
| Каменно-Степное опытное лесничество   | 15         | 4           | 1                                  |
| Спецлесхоз «Красногорский»  | 12         | 16          | 2                                  |
| Агентство лесного хозяйства по Алтайскому краю и Республике Алтай                                     | 11         | 3           | 1                                  |
| ОАО Группа «Илим»   | 15         | 2           | 1                                  |
| Международный институт леса   | 11         | 180         | 4                                  |
| Чебаркульский опытный лесхоз  | 7          | 7           | 2                                  |
| ООО «Лигнум»  | 3          | 4           | 1                                  |
| Санкт-Петербургский лесной экологический центр  | 2          | 614         | 2                                  |
| ОАО «Приморские лесопромышленники»  | 1          | 4           | 1                                  |
| ОАО «Томская домостроительная компания»   | 1          | 0           | 0                                  |
| Соломбальский целлюлозно-бумажный комбинат  | 1          | 1           | 1                                  |
| Всероссийский институт повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесного хозяйства | 0          | 0           | Нет данных                         |

Т а б л и ц а 8

**Динамика публикаций (по суммарным данным РИНЦ) для всех упомянутых в табл. 1–7 организаций, работающих в основном в интересах лесного комплекса (по состоянию на середину мая 2018 г.)**

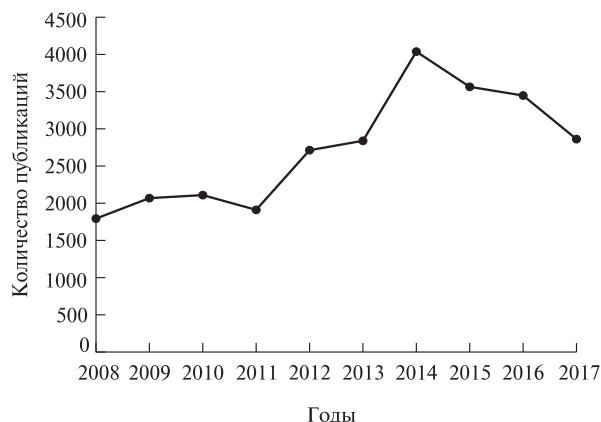
**Dynamics of publications (according to the summary data of the RSCI) for all mentioned in table. 1–7 organizations working mainly in the interests of the forest complex (as of mid-May 2018)**

| Организации                                 | Годы |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|   | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 | 2012 | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 |
| Всего по трем вузам (см. табл. 1)           | 1433 | 1769 | 1796 | 1596 | 2175 | 2290 | 3246 | 2778 | 2693 | 2104 |
| Всего по трем НИИ РАН (см. табл. 3)         | 220  | 202  | 169  | 213  | 316  | 300  | 359  | 468  | 546  | 541  |
| Всего по шести отраслевым НИИ (см. табл. 6) | 134  | 92   | 128  | 132  | 207  | 234  | 422  | 308  | 243  | 218  |
| Итого                                       | 1787 | 2063 | 2093 | 1941 | 2697 | 2824 | 4027 | 3554 | 3448 | 2863 |

По ряду отраслевых организаций (учреждений) (ЦНИИ бумаги, Научно-исследовательский институт ВНИИДРЕВ, ЦНИИ фанеры и др.) данные не анализировались и не приведены в табл. 6 из-за их отсутствия после 2010 г. или очень низких значений. Динамика показателей результативности всех прочих организаций (учреждений) не рассматривалась в дальнейшем по тем же причинам. Эта база, конечно, не является всеобъемлющей, однако она пополнялась и пополняется систематически.

Для сравнения в табл. 8 приведены данные, характеризующие динамику публикаций всех вышеперечисленных категорий организаций (учреждений) России, работающих в основном в интересах лесного комплекса. Итоговые показатели для наглядности представлены на рисунке.

Приведенные данные достаточно объективны, сведения о разных организациях сопоставимы друг с другом. Они в значительной степени отражают общие тенденции и позволяют сформулировать определенные выводы.



Динамика количества публикаций за 2008–2017 гг. (по данным РИНЦ) организаций (учреждений), работающих в основном в интересах лесного комплекса  
 Dynamics of the number of publications for 2008–2017 (according to RISC) by organizations (institutions) working mainly in the interests of the forest complex

### Выводы

В России научно-исследовательской работой в интересах лесного комплекса занимаются преимущественно организации и учреждения отраслевого, вузовского и академического сектора. Объемы НИР, выполняемых в интересах лесного комплекса, находятся на весьма низком уровне.

Публикационная активность, которая в определенной мере может быть принята за индикатор выполняемых научно-исследовательских работ, достигла максимума в 2014 г. В 2015–2018 гг. четко прослеживается ее отрицательная динамика. При этом наблюдается снижение показателей не только у высших учебных заведений, но и у отраслевых НИИ.

Присоединение ряда ведущих вузов отраслевой направленности к непрофильным сказывается отрицательным образом на системе подготовки кадров не только для лесного комплекса, но и для отраслевой науки. В значительной степени это объясняется современным состоянием и перспективами лесного комплекса.

Определенные тенденции ведущих мировых стран в сторону «зеленой» экономики [9–12] подчеркивают необходимость усиления научно-обра-

зовательной составляющей в интересах лесного комплекса.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/8.9.*

### Список литературы

- [1] Проект Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. 2018 г. 95 с. URL: [http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project\\_les2030\\_20102017.pdf](http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_les2030_20102017.pdf) (дата обращения 10.04.2018).
- [2] Индикаторы науки: 2018: статистический сборник / ред. Л.М. Гохберг. М.: НИУ ВШЭ, 2018. 320 с.
- [3] Индикаторы образования: 2017: статистический сборник / ред. Л.М. Гохберг. М.: НИУ ВШЭ, 2017. 320 с.
- [4] Фитчин А.А. РИНЦ как неэффективное средство оценки научной деятельности в лесопромышленном комплексе // Научные труды МГУЛ, 2015. Вып. 376. С. 135–142.
- [5] Санаев В.Г., Моисеев Н.А., Курносов Г.А. Состояние и основные направления научно-технического и кадрового обеспечения лесного сектора экономики РФ. М.: МГУЛ, 2007. 95 с.
- [6] Шалаев В.С. Научно-исследовательская работа. Конспект лекций. Ч. 1. М.: МГУЛ, 2016. 72 с.
- [7] Обновление рейтингов ТОП-100 от 04.09.2017 г. URL: <http://www.dissertation-info.ru/index.php/-100-.html> (дата обращения 10.04.2018).
- [8] Аналитические записки за 2016 год: сб. / ред. Н.Н. Калмыков. М.: Издательский дом «Дело» РАНХиГС, 2017. 402 с.
- [9] Крапивин В.Ф., Шалаев В.С., Потапов И.И., Солдатов В.Ю., Букатова И.Л. Методы диагностики лесных экосистем // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, 2014. № 2. С. 3–89.
- [10] Шалаев В.С., Тепляков В.К. Подготовка кадров для лесного комплекса (международный опыт) // «Проблемы организации лесоустройства и пути их решения»: Материалы Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 80-летию со дня рождения профессора О.А. Харина. МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), г. Мытищи, 14 апреля 2017 г. Красноярск: Научно-инновационный центр, 2017. С. 163–169.
- [11] Шалаев В.С. Направления лесных исследований в мире: Навстречу XXIV Всемирному конгрессу ИЮФРО // Научные труды МГУЛ, 2014. Вып. 370. С. 4–9.
- [12] Teplyakov V.K., Shalaev V.S. A History of IUFRO Congresses, Forest research and Russia's Participation. Seoul: Publishing House Dong Jin Moon Hwa Sa, 2017. 581 p.

### Сведения об авторах

**Шалаев Валентин Сергеевич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [shalaev@mgul.ac.ru](mailto:shalaev@mgul.ac.ru)

**Рыкунин Станислав Николаевич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [rikunin@mgul.ac.ru](mailto:rikunin@mgul.ac.ru)

**Федотов Геннадий Николаевич** — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник факультета почвоведения МГУ им. М.В. Ломоносова, [gennadiy.fedotov@gmail.com](mailto:gennadiy.fedotov@gmail.com)

Поступила в редакцию 23.05.2018.

Принята к публикации 17.10.2018.

## PUBLICATION ACTIVITY AS EFFECTIVENESS OF SCIENTIFIC RESEARCH INDICATOR. ANALYSIS AND PROSPECTS

V.S. Shalaev<sup>1</sup>, S.N. Rykunin<sup>1</sup>, G.N. Fedotov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

<sup>2</sup>M.V. Lomonosov Moscow State University, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskie Gory, 1, p. 12, Faculty of Soil Science, Russian Federation

shalaev@mgul.ac.ru

In Russia the research and development in the interests of the forest complex is mainly concerned with the organizations of the forest sector, university and academic sectors. At the same time the volume of research in the interests of the forest complex is very low. As a sufficiently objective and most importantly comparable evaluation of the effectiveness of research and development it is possible to consider the data base of the Russian index of scientific citation on the publication activity of the organizations working in the interests of the forest complex. About 10 years ago at the Moscow State Forest University an analysis was made of the current state of scientific support for the branches of the forest sector of the economy, where a deep crisis in the state of the branch science was spoken about. It cannot be said that this state has improved in the intervening time. Among the conclusions publication effectiveness, which can be accepted to some extent as an indicator of the scientific research, has a pronounced negative dynamics over the past 4 years. At the same time the decline in indicators is observed not only for sufficiently productive higher education institutions but also for forest sector research institutes. The accession of a number of leading forest universities to non-core ones has a negative impact not only on the education system for the forest sector but also on the branch science. Certain trends of the leading world countries towards the «green» economy stress the need to strengthen

**Keywords:** publication activity, forest complex, research work

**Suggested citation:** Shalaev V.S., Rykunin S.N., Fedotov G.N. *Publikatsionnaya aktivnost' kak indikator rezul'tativnosti nauchno-issledovatel'skikh rabot. Analiz i perspektivy* [Publication activity as effectiveness of scientific research indicator. analysis and prospects]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2018, vol. 22, no. 5, pp. 129–136. DOI: 10.18698/2542-1468-2018-5-129-136

### References

- [1] *Proekt Strategii razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda*. [Draft Strategy for the development of the forestry complex of the Russian Federation until 2030] 2018, 95 p.  
URL: [http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project\\_les2030\\_20102017.pdf](http://minpromtorg.gov.ru/common/upload/files/docs/Project_les2030_20102017.pdf). (accessed 10.04.2018).
- [2] *Indikator nauki: 2018: statisticheskiy sbornik* [Indicators of Science: 2018: Statistical Digest]. Ed. L.M. Gokhberg. Moscow: NIU VShE, 2018, 320 p.
- [3] *Indikator obrazovaniya: 2017: statisticheskiy sbornik* [Indicators of education: 2018: Statistical Digest]. Ed. L.M. Gokhberg. Moscow: NIU VShE, 2017, 320 p.
- [4] Fitchin A.A. *RINTs kak neeffektivnoe sredstvo otsenki nauchnoy deyatel'nosti v lesopromyshlennom komplekse* [RINC as an ineffective means of assessing scientific activity in the timber industry complex]. *Nauchnye trudy MGUL* [Scientific works of MFSU], 2015, iss. 376, pp. 135–142.
- [5] Sanaev V.G., Moiseev N.A., Kurmosov G.A. *Sostoyanie i osnovnye napravleniya nauchno-tehnicheskogo i kadrovogo obespecheniya lesnogo sektora ekonomiki RF* [Status and main directions of scientific and technical and personnel support of the forest sector of the Russian Federation]. Moscow: MGUL, 2007, 95 p.
- [6] Shalaev V.S. *Nauchno-issledovatel'skaya rabota. Konspekt lektsiy* [Research work. Lecture notes] Part 1. Moscow: MGUL, 2016, 72 p.
- [7] *Obnovlenie reytingov TOP-100 ot 04.09.2017 g.* [Update of ratings TOP-100 from 09/04/2017].  
URL: <http://www.dissertation-info.ru/index.php/-100-.html> (accessed 10.04.2018).
- [8] *Analiticheskie zapiski za 2016 god: sbornik* [Analytical notes for 2016: compilation]. Ed. N.N. Kalmykov. Moscow: Publishing house «Delo» RANKhiGS, 2017, 402 p.
- [9] Krapivin V.F., Shalaev V.S., Potapov I.I., Soldatov V.Yu., Bukatova I.L. *Metody diagnostiki lesnykh ekosistem* [Methods of diagnostics of forest ecosystems]. *Problemy okruzhayushchey sredy i prirodnykh resursov* [Problems of the environment and natural resources], 2014, no. 2, pp. 3–89.
- [10] Shalaev V.S., Teplyakov V.K. *Podgotovka kadrov dlya lesnogo kompleksa (mezhdunarodnyy opyt)* [Training of personnel for the forestry complex (international experience)]. *Problemy organizatsii lesoustroystva i puti ikh resheniya»: Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu so dnya rozhdeniya professora O.A. Kharina* [«Problems of organization of forest inventory and ways to solve them»: Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the birth of Professor O.A. Kharin]. BMSTU (Mytishchi branch), Mytishchi, April 14, 2017. Krasnoyarsk: Scientific and Innovation Center, 2017, pp. 163–169.
- [11] Shalaev V.S. *Napravleniya lesnykh issledovaniy v mire: Navstrechu XXIV Vsemirnomu kongressu IYuFRO* [Directions of forest research in the world: Towards the XXIV World Congress of the IUFRO]. *Nauchnye trudy MGUL*, 2014, iss. 370, pp. 4–9.
- [12] Teplyakov V.K., Shalaev V.S. *A History of IUFRO Congresses, Forest research and Russia's Participation*. Eds. J.A. Parrotta, P. Parrotta Natarajan. Seoul: Publishing House Dong Jin Moon Hwa Sa, 2017. 581 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), rikunin@mgul.ac.ru

**Fedotov Gennadiy Nikolaevich** — Dr. Sci. (Biol.), Leading Researcher of M.V. Lomonosov Moscow State University, gennadiy.fedotov@gmail.com

Received 23.05.2018.

Accepted for publication 17.10.2018.