

# ЛЕСНОЙ ВЕСТНИК / FORESTRY BULLETIN

Научно-информационный журнал

№ 1 ' 2020 Том 24

## 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

**Бемманн 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

**Ковачев Атанас**, д-р архитектуры, профессор, член-корр. Болгарской АН, профессор Международной Академии

Архитектуры, Лесотехнический университет, Болгария, Варна

**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 Геннадий 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

**Щепаченко 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. Сивай

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 17.02.2020.

Тираж 600 экз.

Заказ №

Объем 16,25, п. л.

Цена свободная

# LESNOY VESTNIK / FORESTRY BULLETIN

Scientific Information Journal  
№ 1 ' 2020 Vol. 24

## 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

**Kovachev Atanas**, Corresponding Member of the Bulgarian Academy of Sciences, Dr. Sci., Professor, University of Forestry, Bulgaria, Sofia

**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-Universität, Goettingen

**Leont'ev Aleksandr Ivanovich**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Professor, Dr. Sci. (Tech.), BMSTU, Moscow

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

**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; Eidgenössische Technische Hochschule Zurich)

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

**Pasztory, 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 TSNIIMASH, 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. Sivay

Translation by M.A. Karpukhina

Electronic version by Yu.A. Ryazhskaya

## Founder BMSTU

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

The journal is included in the list of approved VAK of the Russian Federation for editions for the publication of works of competitors of scientific degrees Materials of the present magazine can be reprinted and reproduced fully or partly with the written permission of publishing house It has been published since 1997

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

It is sent for the press 17.02.2020.  
Circulation 600 copies  
Order №  
Volume 16,25 p. p.  
Price free

# СОДЕРЖАНИЕ

## БИОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА

- Пристова Т.А.**  
Фитомасса древесных растений в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения ..... 5
- Розломий Н.Г.**  
Оценка экологического потенциала урбанизированной территории  
(на примере лесов зеленой зоны Владивостокской агломерации) ..... 14

## ЛАНДШАФТНАЯ АРХИТЕКТУРА

- Дужинская А.А., Дормидонтова В.В.**  
Способы достижения выразительности городского пространства на примере стрелки Васильевского острова ..... 20
- Копылов П.В.**  
Изучение результатов современного благоустройства и озеленения города Москвы по госпрограмме «Моя улица»  
на примере территорий, прилегающих к транспортной магистрали Садовое кольцо ..... 25
- Леонов Л.А.**  
Исторические ландшафты современного «Артека»: особенности парка «Лазурный» ..... 34
- Соломенцева А.С.**  
Декоративные виды шиповников для озеленения Волгоградской области ..... 41
- Фролова В.А.**  
Эволюция технологии создания дорожных одежд из натурального камня от римских дорог до наших дней ..... 51

## ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

- Якимович С.Б., Ефимов Ю.В.**  
Оценка эффективности систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины  
по фундаментальному критерию технолога — удельной энергоёмкости ..... 59

## ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКАЯ ПЕРЕРАБОТКА ДРЕВЕСИНЫ

- Курышов Г.Н., Косарин А.А.**  
Импульсная сушка пиломатериалов из древесины клена толщиной 50 мм в конвективных сушильных камерах ..... 69
- Кононов Г.Н., Зайцев В.Д.**  
Древесина как химическое сырье: история и современность.  
I. Лигноуглеводный комплекс древесины как объект изучения ..... 74
- Бабурина М.И., Вострикова Н.Л., Зарубин Н.Ю.,  
Горбунова Н.А., Иванкин А.Н., Зенкин А.Н.**  
Топливные биостимуляторы роста сельхозкультур ..... 90

## МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

- Полещук О.М., Поярков Н.Г., Замятин Е.В.**  
Цифровая обработка сигналов на основе теории нечетких множеств ..... 98
- Лозовецкий В.В., Комаров Е.Г., Черкина В.М.**  
Аналитический обзор исследований процессов смешения компонентов топлива  
в энергодвигательных установках ..... 103
- Полуэктов Н.П., Усатов И.И., Андросюк А.А.,  
Сербинов А.Л., Мазаева Т.А., Посевин А.Н.**  
Высокочастотный источник газового разряда ..... 111
- Туманов М.П., Серебренников П.С., Абдуллин С.Р.**  
Исследование колебания в системах управления с переменной структурой с учетом запаздывания ..... 117
- Карелина Е.Б., Клехо Д.Ю., Батырев Ю.П.**  
Разработка интеллектуальной системы управления технологическим процессом бестарного хранения муки ..... 124

# CONTENTS

## BIOLOGICAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF FORESTRY

- Pristova T.A.**  
Phytomass of woody plants in post-harvest origin deciduous forests ..... 5
- Rozlomy N.G.**  
Ecological potential of urbanized territory (on example of green zone forests of Vladivostok agglomeration) ..... 14

## LANDSCAPE ARCHITECTURE

- Duzhinskaya A.A., Dormidontova V.V.**  
Methods for achieving space expressivity by example of strelka ensemble on Vasilievsky Island ..... 20
- Kopylov P.V.**  
Results of Moscow governmental program “My Street” for current greening and general improvement  
in case study of improvement territories along Garden Ring road ..... 25
- Leonov L.A.**  
Historical landscapes of modern «Artek»: features of «Lazurny» Park ..... 34
- Solomentseva A.S.**  
Ornamental species of wild roses for landscaping Volgograd region ..... 41
- Frolova V.A.**  
Evolution of natural stone road pavements from roman roads to the present ..... 51

## FORESTRY MECHANIZATION

- Yakimovich S.B., Efimov Yu.V.**  
Estimation of machinery and harvesting heads efficiency systems for preparation of wood  
by fundamental criteria technology — special storage density ..... 59

## WOODWORKING AND CHEMICAL WOOD PROCESSING

- Kuryshov G.N., Kosarin A.A.**  
Impulse maplewood lumber drying of 50 mm thickness in convective drying kilns ..... 69
- Kononov G.N., Zaitsev V.D.**  
Wood as a chemical raw material: its history and modernity.  
I. Lignoharbohydrate complex of wood as an object of study ..... 74
- Baburina M.I., Vostrikova N.L., Zarubin N.Yu., Gorbunova N.A., Ivankin A.N., Zenkin A.N.**  
Fuel biostimulants for agriculture crop growth ..... 90

## MATH MODELING

- Poleshchuk O.M., Poyarkov N.G., Zamyatin E.V.**  
Digital signal processing based on fuzzy set theory ..... 98
- Lozovetskiy V.V., Komarov E.G., Cherkina V.M.**  
Analytical review of mixing fuel components in power engine installations research processes ..... 103
- Poluektov N.P., Usatov I.I., Androsyuk A.A.,  
Serbinov A.L., Mazaeva T.A., Posevin A.N.**  
High frequency gas discharge source ..... 111
- Tumanov M.P., Serebrennikov P.S., Abdullin S.R.**  
The study of oscillations in control systems with variable structure with lagging ..... 117
- Karelina E. B., Klekho D. Yu., Batyrev Yu.P.**  
Development of an intelligent process control system for flour bulk storage ..... 124

## ФИТОМАССА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЛИСТВЕННЫХ ФИТОЦЕНОЗАХ ПОСЛЕРУБОЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Т.А. Пристова

ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, 167982, Республика Коми, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, д. 28

pristova@ib.komisc.ru

Приведены данные по оценке динамики фитомассы древесных растений в двух типах лиственных насаждений послерубочного происхождения в условиях средней тайги Республики Коми. Представлены таксационные измерения в березово-еловом молодняке и осиново-березовом насаждении, полученные в период 2005–2015 гг. В целях определения фитомассы использован метод модельных деревьев (по Л.Ф. Правдину) с последующим применением аллометрических уравнений для оценки отдельных фракций деревьев. Установлено возрастание общей фитомассы древесных растений за 10-летний период в зависимости от типа и возраста исследуемых насаждений. Определено, что увеличение фитомассы древесных растений происходит за счет древостоя, поскольку фитомасса подроста и подлеска в период древостоя снижается. Показано увеличение фитомассы хвойных пород, в основном ели, вследствие перехода крупного подроста в состав древостоя. Дана оценка усредненного годичного прироста древостоя. Рассмотрено влияние полога осины на формирование фитомассы ели в древостое осиново-березового насаждения. Выявлены изменения в соотношении фракций фитомассы древесных растений за исследуемый период. Полученные результаты позволяют оценить как долгосрочные перспективы естественного лесовосстановления в разных возрастных интервалах и направлениях восстановительной динамики, так и продуктивность производных насаждений, формирующихся без проведения лесоводственных мероприятий, а также дают возможность пополнения базы данных биологической продуктивности таежных лесов послерубочного происхождения.

**Ключевые слова:** средняя тайга, лиственные насаждения послерубочного происхождения, фитомасса, древостой, подрост, подлесок

**Ссылка для цитирования:** Пристова Т.А. Фитомасса древесных растений в лиственных фитоценозах послерубочного происхождения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 5–13.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-5-13

Среди всего спектра хозяйственной деятельности главным фактором воздействия на таежные экосистемы Севера являются рубки лесов, которые приводят к увеличению площади березовых, осиновых и смешанных лиственно-хвойных лесов, представляющих собой антропогенные варианты естественной сукцессии [1]. Восстановление естественной структуры таежных лесов как на региональном уровне, так и в целом по РФ — актуальная задача для научной, лесохозяйственной и лесопромышленной деятельности [2–4]. Ее решение тесно связано с разработкой и внедрением в практику лесопользования новых методов ведения лесного хозяйства, для чего следует понять закономерности динамики структуры, продуктивности и возобновления лесных фитоценозов. Важным начальным этапом этой работы является накопление фактического материала о биологической продуктивности и фитомассе древостоев, создание на их основе базы данных [2–4].

Известно, что направление восстановительно-возрастной динамики насаждений, формирующихся после рубки, весьма изменчиво [5]. Спецификой древостоев на вырубках, возникших путем естественного лесовозобновления, является существенное изменение их пространственной

структуры, ярусов и видового состава. В процессе развития лесных экосистем послерубочного происхождения утрачивается их естественная структурно-динамическая организация по сравнению с исходным фитоценозом. В то же время лиственные породы положительно влияют на круговорот веществ и улучшение почв [1, 6–8]. Одним из параметров, отражающих структуру и динамику производных лиственных лесов, считается фитомасса древостоя [3]. Актуальность изучения фитомассы древостоев обусловлена необходимостью детального изучения вторичных сукцессий в целях выработки практических методов лесопользования и лесовосстановления.

Исследования по оценке фитомассы и продуктивности древесного яруса лесных сообществ, а также их динамике при послерубочных сукцессиях в условиях европейского Севера малочисленны и зачастую приурочены к изучению биологического круговорота в этих лесах [4, 6, 9–13].

### Цель работы

Цель работы — изучение динамики фитомассы и получение конкретных данных для каждого вида древесного растения в лиственных насаждениях послерубочного происхождения в условиях средней тайги Республики Коми.

**Материалы и методы**

Исследования проводились в 2005–2015 гг. в подзоне средней тайги на базе Ляльского лесо-экологического стационара Института биологии ФИЦ Коми НЦ УрО РАН в Кылтовском лесничестве Княжпогостского района Республики Коми. Постоянные пробные площади (ППП) закладывали под руководством К.С. Бобковой в березово-еловом молодняке разнотравном и осиново-березовом насаждении разнотравно-черничного типа (62°18'с. ш., 50°55'в. д.). Перечет проводили по общепринятой в лесной таксации методике [14]. Материалы анализировали в соответствии с известными методическими указаниями [15]. Исследуемые фитоценозы развивались после рубок 1970–1990-х гг. в ельниках черничного типа (табл. 1).

Для определения запасов фитомассы в исследуемых фитоценозах использован наиболее распространенный метод модельных деревьев (по Л.Ф. Правдину) с последующим применением аллометрических уравнений для оценки отдельных фракций деревьев и фитомассы древостоя в целом [2, 16, 17]. Проанализировано 24 модельных дерева основных лесобразующих пород

и 10 — подлесочных пород. Регрессионные уравнения связи морфометрических и продукционных показателей деревьев получены на основании биометрических признаков модельных деревьев. Для большинства фракций использовалось простое линейное уравнение вида  $y = a + bx$ , связывающее ступень толщины ствола ( $x$ ) с фитомассой фракции дерева ( $y$ ), реже экспоненциального вида  $y = ab^x$ , для подростов и подлесочных пород использованы зависимости от высоты. Данные по фитомассе представлены в килограммах или тоннах на гектар абсолютно сухого вещества.

Для характеристики живого напочвенного покрова (ЖНП) применяли общепринятую методику учета растений, на каждой ППП определяли общее проективное покрытие (ОПП) растений травяно-кустарничкового и мохового ярусов, а также проективное покрытие каждого вида [18].

Древесный ярус березово-елового молодняка — сложный, представлен доминирующими видами *Betula pendula* Roth., *B. pubescens* Ehrh., *Picea obovata* Ledeb., а также единичными экземплярами — *Populus tremula* L., *Pinus sylvestris* L., *Abies sibirica* Ledeb. Напочвенный покров березово-елового молодняка, произрастающего на торфянисто-подзолисто-глеватой почве, отличается

Т а б л и ц а 1

**Таксационная характеристика древостоя и подроста березово-елового молодняка и осиново-березового насаждения (состав древостоя рассчитан по запасу)**

Taxation characteristics of the stand and undergrowth of birch-spruce young growth and aspen-birch plantation (the composition of the stand is calculated by stock)

Год учета	Тип леса	Состав древостоя	Вид	Число деревьев, экз./га		Возраст, лет	Сумма площадей сечений, м²/га	Запас древесины, м³/га		Средние		Подрост, тыс. экз./га
				растущих	сухих			растущих	сухих	высота, м	диаметр, см	
2005*	Березово-еловый разнотравный	8Б2Еед.С ед.Ос	Ель	211	11	12	2,50	12	0,1	7	11	3,0
			Береза	256	—	12	1,56	7	—	8	9	13,0
			Всего	467	11		4,06	19	0,1			16,0
2015**	Березово-еловый разнотравный	7Б3Е+С ед.Ос	Ель	300	11	22	3,37	18,3	0,1	9	11	2,0
			Береза	777	22	22	5,17	30,9	0,1	9	9	11,0
			Осина	33	0	20	0,26	1,0	0	10	10	0,04
			Сосна	22	0	20	0,27	1,5	0	11	12	0,1
			Всего	1132	33		9,07	51,7	0,2			13,14
2005*	Осиново-березовый разнотравно-черничный	5Ос4Б1Еед.Пх	Осина	524	55	40	11,77	78	4	13	16	0,1
			Береза	2032	33	40	12,25	65	1	11	8	7,0
			Ель	211	—	37	1,90	18	—	8	8	5,0
			Пихта	11	—	30	0,03	0,1	—	6	6	0,2
			Всего	2778	88		25,95	161,1	5			12,3
2015***	Осиново-березовый разнотравно-черничный	6Ос3Б1Еед.Пх	Осина	489	88	50	17,1	136,2	14,8	14	19	0,07
			Береза	1378	22	50	12,7	75,3	0,1	10	10	1,0
			Ель	522	11	47	3,9	20,2	0,1	9	9	2,0
			Пихта	22	0	40	0,1	0,4	0	8	8	0,1
			Всего	2411	121		33,8	232,1	15,0			3,17

\*Перечет провели: К.С. Бобкова, Т.А. Пристова, Э.П. Галенко, В.В. Тужилкина.

\*\*Перечет провели: Т.А. Пристова, А.В. Манов.

\*\*\*Перечет провели: Т.А. Пристова, А.В. Манов, Н.В. Торлопова, С.И. Наймушина.

большой мозаичностью и насчитывает 28 видов. Общее проективное покрытие — 100 %, из них трав — 30, кустарничков — 5, мхов — 65 %. На месте трелевочных волоков в исследуемом фитоценозе развивается моховой покров преимущественно из *Sphagnum magelanicum* Brid. и *Polytrichum commune* Hedw. (ОПП — 80 %). Из кустарничков доминируют *Vaccinium myrtillus* L. и *V. vitis-idaea* L., из трав — *Juncus filiformis* L. и *Agrostis tenuis* Sibth., среди мхов — *Polytrichum commune*, *Sphagnum magelanicum*, *Hylocomium splendens* (Hedw.) Bruch et al.

Древостой осиново-березового насаждения представлен *Populus tremula*, *Betula pendula*, *B. pubescens*, *Picea obovata*, единично *Abies sibirica*. Общее проективное покрытие растений напочвенного покрова осиново-березового насаждения, произрастающего на торфянисто-подзолисто-глеевой почве, сформированно 27 видами и составляет 60 %, в том числе проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса — 50, мохового — 10 %. В травяно-кустарничковом ярусе доминируют *Vaccinium myrtillus* и *V. vitis-idaea*, часто встречаются *Oxalis acetosella* L., *Solidago virgaurea* L., *Rubus saxatilis* L., *Aegopodium podagraria* L. Для мохового яруса характерно увеличение проективного покрытия и неравномерное развитие, доминируют *Polytrichum commune*, а на отдельных участках — *Sphagnum magelanicum*. В подросте обоих фитоценозов преобладают *Betula pendula*, *B. pubescens* и *Picea obovata* разной высоты. Подлесок исследуемых фитоценозов состоит из *Salix caprea* L., *Sorbus aucuparia* L., *Rosa acicularis* Lindl. (высотой до 0,5 м) и единичных экземпляров *Lonicera pallasii* Ledeb. (высотой от 0,6 до 1 м), в березово-еловом молодняке дополнительно встречаются *Salix pentandra* L. и *S. philicifolia* L.

## Результаты и обсуждение

Производные леса послерубочного происхождения в настоящее время рассматриваются в определенных закономерностях во временно-возрастной динамике. В связи с изменением методов, способов рубок, механизмов и систем машин сложно спрогнозировать пути формирования вторичных насаждений [5]. Изучаемые объекты, которые выбирались с учетом года и способа проведения рубок, несмотря на сходное происхождение, почвенные условия и исходный тип леса, имеют существенные различия в основных лесоводственных характеристиках (см. табл. 1). Фитомасса древесных растений, включающих в себя массу древостоя, подроста и подлеска, является одним из важных показателей, отражающих особенности естественного лесовозобновления в определенном временном интервале. Исследо-

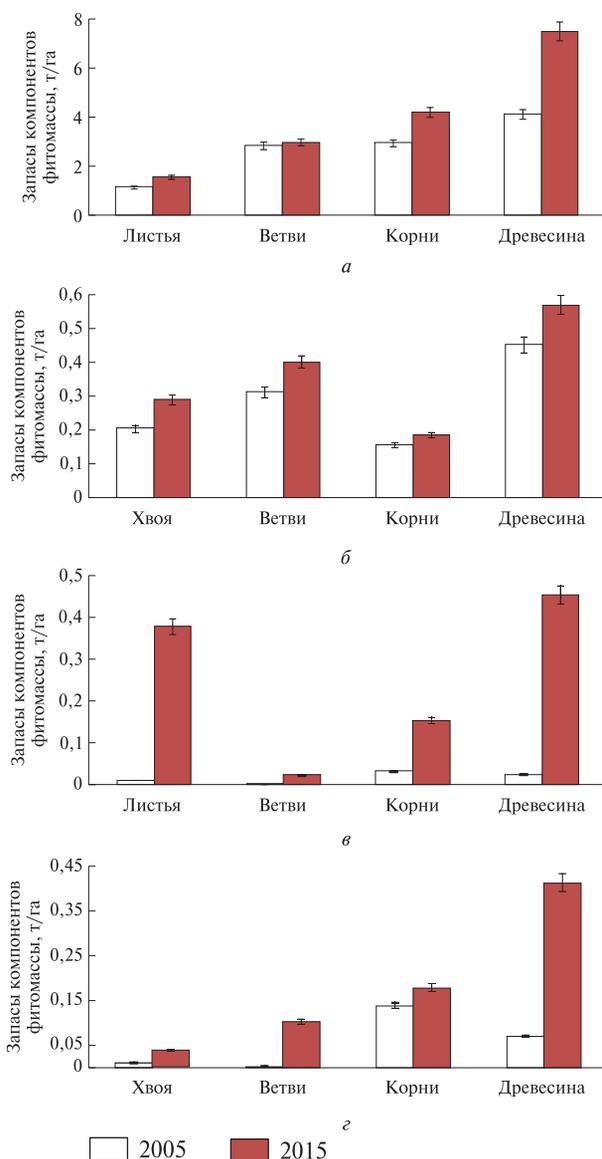


Рис. 1. Изменение запасов компонентов фитомассы с 2005 по 2015 гг. в березово-еловом молодняке: а — береза; б — ель; в — осина; г — сосна

Fig. 1. Change in stocks of phytomass components from 2005 to 2015 in birch-spruce young growth: а — birch; б — spruce; в — aspen; г — pine

вания динамики фитомассы древесных растений березово-елового молодняке показали, что ее увеличение за исследуемый период было незначительным — с 31 до 32 т/га, при этом фитомасса древостоя возросла более существенно — с 12,5 до 21,3 т/га (рис. 1, табл. 2). Для Вологодской обл. приводятся более высокие показатели — для 6-летней лесосеки с возобновлением березы в условиях средней тайги запасы фитомассы древостоя составляют 6,4 т/га, в 17-летнем березняке со вторым ярусом из ели — 48,8 т/га [6]. Фитомасса стволовой древесины, листьев и хвои в древостое за этот период увеличилась почти в 2 раза, корней и ветвей — в 1,5 раза (см. рис. 1). Повышение

Т а б л и ц а 2

## Фитомасса подроста и подлеска в березово-еловом молодняке в 2005 и 2015 гг., кг/га

## Phytomass of undergrowth and undergrowth in birch-spruce young growth in 2005 and 2015, kg/ha

Древесная порода	Древесина		Ветви		Листья (хвоя)		Корни		Всего	
	2005	2015	2005	2015	2005	2015	2005	2015	2005	2015
Ель	787,5	279,3	552,0	194,2	353,2	129,2	266,3	96,5	1959,0	699,2
Береза	4741,0	3237,8	876,4	353,8	219,6	281,0	1844	1679,6	7680,7	5552,2
Осина	13,7	0,1	9,9	0,1	3,3	0,1	7,7	0,2	34,6	0,4
Пихта	7,9	8,4	6,7	5,9	2,7	3,8	2,4	2,9	19,7	21,0
Рябина	3578,0	1575,2	611,4	270,9	322,7	132,1	261,5	110,3	4773,1	2088,5
Ива	2744,5	1778,4	318,1	200,5	380,2	239,5	564,0	427	4006,8	2645,4
Жимолость	0,1	0,4	0,1	0,4	0,04	0,2	0,1	0,9	0,3	1,9
Шиповник	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,4	0,4

фитомассы древостоя определяется активным ростом ели и березы, увеличением количества деревьев из-за перехода из подроста в древостой (см. табл. 1).

Фитомасса березы как доминирующего компонента в составе древостоя за исследуемый период увеличилась в 1,3 раза, при этом запасы стволовой древесины увеличились в 1,8 раза (см. рис. 1). Масса ели возросла в 1,3 раза и в отличие от березы фитомасса ее отдельных компонентов за исследуемый период увеличивалась пропорционально. Осина, составляя в фитомассе древостоя, незначительное количество в 2005 г. — 0,4 %, к 2015 г. увеличила массу почти в 15 раз (до 4,8 %). Такой значительный рост фитомассы осины связан с увеличением количества деревьев в древостое, а также со способностью этой породы к быстрому росту и наращиванию массы стволовой древесины. Фитомасса сосны, присутствующей в составе древостоя единично, возросла в 2,5 раза за счет увеличения количества деревьев, которые перешли из подроста в древостой, а также прироста стволовой древесины и ветвей (см. рис. 1). По нашим оценкам, прирост фитомассы древостоя составляет в среднем около 1 т/га в год.

Фитомасса подроста березово-елового молодняка за 10-летний период уменьшилась с 9,8 до 6,3 т/га (см. табл. 2). Значительная часть общей массы подроста формируется березой. Тем не менее ее фитомасса за исследуемый период снизилась в 1,4 раза, прежде всего вследствие сокращения количества экземпляров березы в подросте за счет перехода крупного подроста в состав древостоя и естественного изреживания (гибели деревьев). Фитомасса подроста ели также уменьшилась — в 2,8 раза — в результате сокращения количества деревьев из-за перехода крупного подроста в состав древостоя (см. табл. 1). Осина и сосна в подросте имеют семенное происхождение и формируют незначительную фитомассу,

не выше 2 % общей массы подроста (см. табл. 2). Эти виды представлены в подросте в небольшом количестве и за 10 лет большая часть из них погибла, только единичные крупные экземпляры перешли в древостой (см. табл. 1). Следует отметить, что немногочисленные экземпляры сосны и осины расположены в «окнах», где условия для их выживания наиболее благоприятны. Участие пихты в формировании фитомассы подроста ничтожно мало, поскольку она представлена в молодняке единичными экземплярами вегетативного происхождения, источником которых были деревья, оставленные на вырубке (см. табл. 2).

Динамика фитомассы подлеска березово-елового молодняка, представленного такими шестью видами как *Salix caprea*, *S. pentandra*, *S. philicifolia*, *Sorbus aucuparia*, *Rosa acicularis*, *Lonicera pal-lasii*, отличается своей спецификой и обусловлена не только биологическими особенностями видов, но и этапами сукцессионного развития производного насаждения. Общие запасы органического вещества в подлеске за исследуемый период снизились с 8,8 т/га в 2005 г. до 4,7 т/га в 2015 г. (см. табл. 2). Накопление фитомассы подлеском происходит преимущественно за счет рябины и ивы. Анализ изменений за 10-летний период в распределении фитомассы по видам растений подлеска показал ее снижение для рябины и ивы. В первую очередь это обусловлено изменением количества экземпляров растений на 1 га и их ростом. Согласно проведенным таксационным измерениям, количество экземпляров рябины уменьшилось с 4 до 3 тыс. экз./га, ивы — с 9 до 5 тыс. экз./га. Кроме того, в связи с ростом деревьев изменилось распределение подлеска по высоте. Так, в 2005 г. основное количество ивы и рябины было представлено деревьями высотой до 3 м, в 2015 г. — более 3 м. Согласно данным представленным в табл. 2, фитомасса рябины в 10-летнем березово-еловом молодняке достигла

4,8 т/га, но уже к 20 годам снизилась до 2,1 т/га, что обусловлено некоторыми ее биологическими особенностями: рябина хорошо размножается корневыми отпрысками и в первые 3...5 лет после рубки увеличивается ее численность, к 10 годам достигая максимума, но через 10...12 лет после рубки ее вытесняют более долговечные и быстрорастущие лиственные породы — береза и осина [19]. Следует также отметить небольшую фитомассу ветвей и листьев по отношению к стволу — 1:1:6 в 2005 г. и 1:1:7 в 2015 г. Такое соотношение объясняется тем, что рябина, несмотря на свою теневыносливость, в условиях недостаточной освещенности под пологом древостоя формирует зонтикообразную крону [19]. Фитомасса кустарников — шиповника и жимолости — очень незначительна (см. табл. 2).

Общая масса древесных растений осиново-березового насаждения в период с 2005 по 2015 г. возросла со 117 до 184 т/га, при этом фитомасса древостоя увеличилась с 111 до 178 т/га, т. е. в 1,6 раза (рис. 2). Для фитомассы древостоя 35-летнего осинника в условиях северной тайги Архангельской обл. приводится близкий показатель — 120,6 т/га [10]. В условиях южной тайги Вологодской обл. запасы фитомассы более высокие: для 39-летнего осинника — 162,6 т/га [20], для 35-летнего осиново-березового насаждения — 188,6 т/га [21]. Общий запас стволовой древесины увеличился за 10-летний период в 1,4, ветвей — в 1,2, листьев (хвои) — в 1,7, корней — в 1,5 раза (см. рис. 2). Увеличение фитомассы древостоя связано в первую очередь с интенсивным ростом доминирующей в древостое (по запасу) осины, которая относится к быстрорастущим древесным породам (см. табл. 1). Ее масса возросла в 1,5 раза, в основном за счет прироста стволовой древесины (см. рис. 2). Обращает на себя внимание небольшой прирост за исследуемый период других компонентов фитомассы осины в древостое: листьев и ветвей, обусловленный общеизвестной биологической особенностью изменения расположения кроны осины с возрастом. Согласно биометрическим показателям исследуемых модельных деревьев, кроны осины расположены высоко, а стволы практически лишены ветвей. Например, у осины высотой 11 м расстояние от шейки корня до точки прикрепления кроны составляет 9 м.

К 30...45 годам осина достигает максимального роста и фитомассы, к 50 годам ее масса относительно стабилизируется, а после 50 лет она начинает «выпадать» из древостоя, что приводит к снижению ее массы [22]. Эту тенденцию наблюдали и при проведении настоящих исследований. Несмотря на увеличение фитомассы осины в осиново-березовом насаждении за 10-летний пе-

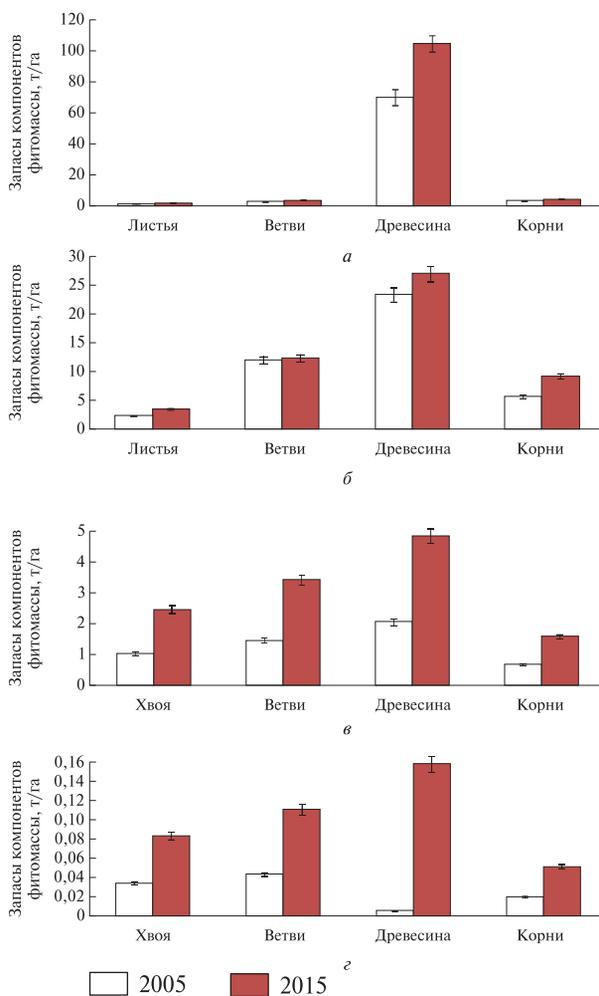


Рис. 2. Изменение запасов компонентов фитомассы в осиново-березовом насаждении с 2005 по 2015 гг.: а — осина; б — береза; в — ель; з — пихта

Fig. 2. Change in stocks of phytomass components in aspen-birch stands from 2005 to 2015: а — aspen; б — birch; в — spruce; з — fir

риод, количество деревьев к 50-летнему возрасту снизилось с 524 до 489 экз./га (см. рис. 2, табл. 1). Масса березы за исследуемый период увеличилась в 1,2 раза, ели — в 2,4, пихты — почти в 4 раза (см. рис. 2). Увеличение фитомассы березы за исследуемый период было небольшим, что обусловлено уменьшением количества деревьев в результате естественного отпада, напротив, значительный рост массы хвойных обусловлен увеличением количества экземпляров на гектар (см. табл. 1). По нашим оценкам, годичный прирост фитомассы древостоя осиново-березового насаждения составляет в среднем около 6...7 т/га.

Динамика фитомассы осиново-березового насаждения обусловлена значительным участием осины в формировании древостоя, связанным с тем, что в 1970-е гг. при проведении условно-сплошных рубок разрешалось оставление на корню фауных и тонкомерных деревьев осины,

Т а б л и ц а 3

## Фитомасса подроста и подлеска в осиново-березовом насаждении в 2005 и 2015 гг., кг/га

Phytomass of undergrowth and undergrowth in aspen-birch plantation in 2005 and 2015, kg/ha

Древесная порода	Древесина		Ветви		Листья (хвоя)		Корни		Всего	
	2005	2015	2005	2015	2005	2015	2005	2015	2005	2015
Ель	404,8	275,1	281,7	191,0	181,6	128,6	137,5	95,8	1005,6	690,5
Береза	130,7	1104,4	243,1	107,8	219,6	94,3	125,9	513,3	719,3	1819,8
Осина	78,7	3,1	3,8	1,2	1,4	1,2	8,4	1,3	92,3	6,8
Пихта	18,7	8,4	13,1	5,9	7,2	3,8	6,3	2,9	45,3	21,0
Рябина	2931,0	2761,5	488,1	470,8	271,5	236,0	218,4	197,1	3909,0	3665,4
Ива	60,0	72,6	5,4	6,6	6,5	8,0	9,4	13,4	81,3	100,6
Жимолость	0,09	0,1	0,09	0,1	0,04	0,04	0,2	0,2	0,4	0,44
Шиповник	0,07	0,1	0,05	0,08	0,07	0,1	0,07	0,1	0,3	0,39

которые впоследствии давали массу корневых отпрысков и быстро заселяли вырубку. В настоящее время есть мнение о благоприятном влиянии осины, оставляемой на вырубках, на еловый подрост, однако вопросы, связанные с оставлением осины при проведении рубок, в лесоводственном отношении мало изучены и являются спорными [23]. В связи с этим наши данные по динамике фитомассы ели в осиново-березовом насаждении представляют определенный интерес. Установлено, что фитомасса подроста за исследуемый период увеличивается с 1,9 до 2,5 т/га (табл. 3). Для подроста березы наблюдается увеличение фитомассы в 2,5 раза, для ели, осины и пихты — ее снижение. Динамика фитомассы подроста отражает изменения в его структуре. Так, несмотря на рост массы березового подроста, его количество за 10 лет сократилось (см. табл. 1). Это обусловлено изменением распределения подроста по высоте изменилось в сторону увеличения количества экземпляров высотой 4...5 м и прироста древесины. Количество елового подроста снизилось за счет перехода части крупного подроста в древостой и естественного изреживания (см. табл. 1). Так, к 2015 г. по высоте стал преобладать подрост ели высотой до 1,5...2 м, который формирует меньший запас фитомассы. Участие осины и пихты в формировании фитомассы подроста в осиново-березовом насаждении незначительно (1...4 %) и за 10 лет снизилось (см. табл. 3). Несмотря на значительную массу и запас осины в древостое данного насаждения, ее в подросте немного, и по состоянию на 2015 г. она представлена в основном усыхающими экземплярами высотой менее 1 м (см. табл. 1), что обусловлено светолюбивостью осины и препятствием в виде увеличивающегося затенения от подроста ели и наличия мохового покрова для развития ее побегов.

Фитомасса подлеска осиново-березового насаждения за исследуемый период практически не изменилась — в среднем составила около 4 т/га

органического вещества (см. табл. 3). Более 90 % общей фитомассы подлеска накопила рябина. Небольшое снижение массы рябины с 3,9 до 3,7 т/га связано с уменьшением количества экземпляров в результате естественного изреживания и большого количества (более 25 %) усыхающих особей. Соотношение массы листьев и ветвей к массе древесины составляет 1:2:10, что свидетельствует о значительной доле древесины стволов в фитомассе рябины. Такое соотношение компонентов фитомассы рябины обусловлено развитием зонтикообразной кроны под пологом осины из-за недостаточной освещенности [19]. Ива, представленная в подлеске видом *Salix caprea*, имеет небольшую фитомассу (менее 100 кг/га) и произрастает в основном как мелкая поросль семенного происхождения высотой до 0,5...1 м и крупные деревья высотой около 5 м (см. табл. 3). В подлеске в течение всего исследуемого периода практически отсутствовали живые экземпляры ивы высотой от 1 до 4,5 м, что обусловлено ее светолюбивостью, отсутствием у нее вегетативного размножения и гибелью растений. Участие кустарников (шиповника и жимолости) в формировании фитомассы подлеска незначительно (менее 1 %), поскольку в осиново-березовом насаждении они характеризуются единичной встречаемостью.

## Выводы

1. Изучение динамики фитомассы древесных растений листовых фитоценозов послерубочного происхождения за 10-летний период показало увеличение общей фитомассы древесных растений в березово-еловом молодняке с 31 до 32, в осиново-березовом насаждении с 117 до 184 т/га.

2. Анализ динамики фитомассы древесных растений выявил, что для исследуемых насаждений характерно увеличение фитомассы древостоя: в березово-еловом молодняке в 1,7, в осиново-березовом насаждении — в 1,6 раза. Повышение

запасов фитомассы древостоя обусловлено увеличением доли стволовой древесины и количества деревьев, особенно хвойных, за счет перехода крупного подроста в состав древостоя.

3. Фитомасса подроста в березово-еловом молодняке снизилась с 9,8 до 6,3 т/га, в осиново-березовом насаждении возросла с 1,9 до 2,5 т/га. Снижение фитомассы подроста в молодняке обусловлено интенсивными процессами перехода крупного подроста в состав древостоя и естественного изреживания. В осиново-березовом насаждении фитомасса возросла за счет увеличения количества крупного подроста березы и приростом стволовой древесины.

4. Оценка динамики фитомассы подлесочных пород показала ее снижение, обусловленное биологическими особенностями формирующих ее видов, процессами естественного изреживания и степенью развития полога древостоя основными лесообразующими породами. Ведущая роль в аккумуляции органического вещества подлеском в исследуемых насаждениях принадлежит рябине.

5. Полученные данные, позволяют оценить перспективы естественного лесовосстановления в разных возрастных интервалах и направлениях восстановительной динамики, оценить продуктивность производных насаждений, формирующихся без проведения лесоводственных мероприятий, а также дают возможность пополнения базы данных по биологической продуктивности таежных лесов послерубочного происхождения.

*Выражаю благодарность сотрудникам отдела лесобиологических проблем Севера ИБ ФИЦ КНЦ УрО РАН К.С. Бобковой, Э.П. Галенко, А.В. Манову, С.И. Наймушиной, А.И. Патову, С.И. Тарасову, Н.В. Торлоповой и В.В. Тужилкиной.*

## Список литературы

- [1] Мелехов И.С. Изучение концентрированных рубок и возобновления леса в связи с ними в таежной зоне // Концентрированные рубки в лесах Севера: сборник статей. М.: АН СССР, 1954. С. 5–47.
- [2] Усольцев В.А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
- [3] Усольцев В.А. Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии. Екатеринбург: УрО РАН, 2011. 573 с.
- [4] Уткин А.И. Биологическая продуктивность лесов // Лесоведение и лесоводство. М.: Наука, 1975. Т. 1. С. 9–190.
- [5] Цветков В.Ф. Типы формирования насаждений и динамическая типология лесов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 2. С. 12–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-2-12-19
- [6] Паршевников А.Л. Круговорот азота и зольных элементов в связи со сменой пород в лесах средней тайги // Типы леса и почвы северной части Вологодской области: тр. Ин-та леса и древесины СО АН СССР / под ред. Г.П. Мотовилова. М.; Л.: АН СССР, 1962. Т. 52. С. 196–209.
- [7] Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. С. 40–147.
- [8] Смольянинов И.И. Биологический круговорот веществ и повышение продуктивности лесов. М.: Лесн. пром-ть, 1969. 192 с.
- [9] Казимиров Н.И., Морозова Р.М., Куликова В.Н. Органическая масса и потоки веществ в березняках средней тайги. Л.: Наука, 1978. 216 с.
- [10] Вакуров А.Д., Полякова А.Ф. Круговорот азота и минеральных элементов в 35-летнем осиннике // Круговорот химических веществ в лесу. М.: Наука, 1982. С. 44–54.
- [11] Митрофанов Д.П. Оценка продуктивности северо-таежных лесов Сибири // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1984. С. 95–102.
- [12] Бобкова К.С. Биологический круговорот азота и зольных элементов в сосновых биогеоценозах // Эколого-физиологические основы продуктивности сосновых лесов Европейского Северо-Востока. Сыктывкар: Коми НЦ УрО РАН, 1993. С. 127–148.
- [13] Пристова Т.А. Биологический круговорот минеральных элементов во вторичном лиственно-хвойном насаждении средней тайги // Экология, 2008. № 3. С. 189–195.
- [14] ОСТ 56–69–83. Пробные площади лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
- [15] Лесотаксационный справочник для Северо-Востока европейской части СССР (нормативные материалы для Архангельской, Вологодской областей и Коми АССР). Архангельск: АИЛ и ЛХ, 1986. 558 с.
- [16] Родин Л.Е., Ремезов Н.В., Базилевич Н.И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Л.: Наука, 1968. 143 с.
- [17] Repola J. Biomass Equations for Birch in Finland // Silva Fennica, 2008, v. 42, no. 4, pp. 605–624.
- [18] Раменский Л.Г. Прямые и комбинированные методы количественного учета растительного покрова // Тр. Мос. об-ва испытателей природы, 1966. Т. 27. С. 17–45.
- [19] Ковалев Н.В. Ресурсный потенциал и ценотическая роль рябины обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.) в лесных экосистемах Ленинградской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 06.03.02. СПб, 2012. 20 с.
- [20] Смирнов В.В. Органическая масса в некоторых лесных фитоценозах европейской части СССР. М.: Наука, 1971. 362 с.
- [21] Уткин А.И., Замолодчиков Д.Г., Коровин Г.Н. Определение запасов углерода насаждений на пробных площадях: сравнение аллометрического и конверсионно-объемного методов // Лесоведение, 1997. № 5. С. 51–65.
- [22] Тарасов С.И., Пристова Т.А., Бобкова К.С. Динамика фитомассы древостоя лиственно-хвойного фитоценоза средней тайги Республики Коми // Сибирский лесной журнал, 2018. № 1. С. 50–58.
- [23] Багаев С.С. Об оставлении на корню фаутной осины при рубках смешанных лесных насаждений // Тр. СПб. НИИЛХ, 2013. № 1. С. 11–18.

## Сведения об авторе

Пристова Татьяна Александровна — канд. биол. наук, науч. сотр. ИБ ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, отдел лесобиологических проблем Севера, pristova@ib.komisc.ru

Поступила в редакцию 04.09.2019.

Принята к публикации 03.12.2019.

## PHYTOMASS OF WOODY PLANTS IN POST-HARVEST ORIGIN DECIDUOUS FORESTS

T.A. Pristova

Institute of Biology, Komi Science Center, Ural Division RAS, 28 Kommunisticheskaya st., 167982, Syktyvkar, Komi Republic, Russia

pristova@ib.komisc.ru

Data are presented of woody plants phytomass dynamics in two types of post-harvest origin of deciduous forest in the middle taiga of the Komi Republic. Taxation measurements were performed in birch-spruce young growth and aspen-birch stand in 2005 and 2015. The phytomass determine, the model tree method was used, followed by the use of allometric equations to estimate individual tree fractions. The total phytomass of woody plants over a 10-year period has increased and, depending on the type and age of the studied stands, ranged from 31 to 184 t/ha. It was revealed that the increase in the phytomass of woody plants occurs due to the stand, as the phytomass of the undergrowth and undergrowth decreases during this period. It has been established that during the study period, the stand phytomass in birch-spruce young growth increased from 12 to 21 t/ha, in the aspen-birch stand from 111 to 178 t/ha. In this article shows an increase in the phytomass of conifers, mainly spruce, due to the transition of large undergrowth to the stand. The average annual growth of the stand is estimated. The influence of the canopy of aspen on the spruce phytomass formation in the stand of trees aspen-birch stand is considered. Changes in the ratio of fractions of phytomass of woody plants for the study period were revealed. The data presented in the article make it possible to assess the long-term prospects of natural reforestation in different age ranges and directions of regenerative dynamics, to evaluate the productivity of derivative plantations that are formed without forestry activities. The resulting data makes it possible to replenish the database on the biological productivity of taiga forests of post-harvest origin.

**Keywords:** middle taiga, deciduous stand of post-harvest origin, phytomass, forest stand, undergrowth, young growth

**Suggested citation:** Pristova T.A. *Fitomassa drevesnykh rasteniy v listvennykh fitotsenozakh poslerubochного protiskhozhdeniya* [Phytomass of woody plants in post-harvest origin deciduous forests]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 5–13. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-5-13

## References

- [1] Melekhov I. S. *Izuchenie kontsentrirrovannykh rubok i vozobnovleniya lesa v svyazi s nimi v taezhnoy zone* [The study of concentrated logging and forest regeneration in connection with them in the taiga zone] *Kontsentrirrovannye rubki v lesakh Severa: sbornik statey* [Concentrated logging in the forests of the North: a collection of articles]. Moscow: AN SSSR, 1954, pp. 5–47.
- [2] Usol'tsev V.A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i ee prilozheniya* [Biological productivity of forests of Northern Eurasia: methods, database and its applications]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2007, 636 p.
- [3] Usol'tsev V.A. *Fitomassa i pervichnaya produktsiya lesov Evrazii* [Phytomass and primary forest products of Eurasia]. Ekaterinburg: UrO RAN, 2011, 573 p.
- [4] Utkin A.I. *Biologicheskaya produktivnost' lesov* [Biological productivity of forests] *Lesovedenie i lesovodstvo* [Forest Studies and forestry]. Moscow: Nauka, 1975, t. 1, pp. 9–190.
- [5] Tsvetkov V.F. *Tipy formirovaniya nasazhdeniy i dinamicheskaya tipologiya lesov* [Types of stand formation and dynamic forest typology]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2019, vol. 23, no. 2, pp. 12–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-2-12-19
- [6] Parshevnikov A.L. *Krugovorot azota i zol'nykh elementov v svyazi so smenoy porod v lesakh sredney taygi* [Cycle of nitrogen and ash elements in connection with the change of species in the forests of the middle taiga] *Tipy lesa i pochvy severnoy chasti Vologodskoy oblasti: tr. in-ta lesa i drevesiny SO AN USSR* [Types of forests and soils of the northern part of the Vologda region: proceedings of the Institute of Forest and Timber SB USSR Academy of Sciences], pod red. G.P. Motovilova. Moscow–Leningrad: AN SSSR, 1962, t. 52, pp. 196–209.
- [7] Rodin L.E. *Dinamika organicheskogo veshchestva i biologicheskii krugovorot v osnovnykh tipakh rastitel'nosti zemnogo shara* [The dynamics of organic matter and the biological cycle in the main types of vegetation of the globe]. Moscow–Leningrad: Nauka, 1965, pp.40–147.
- [8] Smol'yaninov I.I. *Biologicheskii krugovorot veshchestv i povyshenie produktivnosti lesov* [Biological cycle of substances and increase of forest productivity]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1969, 192 p.
- [9] Kazimirov N.I. *Organicheskaya massa i potoki veshchestv v bereznyakakh sredney taygi* [Organic mass and substance flows in birch forests of the middle taiga]. Leningrad: Nauka, 1978, 216 p.

- [10] Vakurov A.D. *Krugovorot azota i mineral'nykh elementov v 35-letnem osinnike* [The nitrogen and mineral elements cycle in the 35-year-old aspen], *Krugovorot khimicheskikh veshchestv v lesu* [The cycle of chemicals in the forest]. Moscow: Nauka, 1982, pp. 44–54.
- [11] Mitrofanov D.P. *Otsenka produktivnosti severo-taizhnykh lesov Sibiri* [Estimation of productivity of the north-taiga forests of Siberia]. *Produktivnost' lesnykh fitotsenozov* [Productivity of forest phytocenoses]. Krasnoyarsk: ILiD SO AN SSSR, 1984, pp. 95–102.
- [12] Bobkova K.S. *Biologicheskii krugovorot azota i zol'nykh elementov v sosnovykh biogeotsenozakh* [The biological cycle of nitrogen and ash elements in pine biogeocenoses] *Ekologo-fiziologicheskie osnovy produktivnosti sosnovykh lesov Evropeyskogo Severo-Vostoka* [Ecological and physiological basis for the productivity of pine forests in the European Northeast]. Syktyvkar: Komi NTs UrO RAN, 1993, pp. 127–148.
- [13] Pristova T.A. *Biologicheskii krugovorot mineral'nykh elementov vo vtorichnom listvenno-khvoynom nasazhdenii sredney taygi* [Biological turnover of chemical elements in a secondary deciduous-coniferous forest of the middle taiga subzone]. *Ekologiya* [Russian Journal of Ecology], 2008, t. 39, no. 3, pp. 176–182.
- [14] OST 56–69–83. *Probnye ploshchadi lesoustroitel'nye. Metod zakladki* [Trial areas are forest inventory. Bookmark Method]. Moscow: TsBNTI gosleskhoza SSSR, 1983, 60 p.
- [15] *Lesotaksatsionnyy spravochnik dlya Severo-Vostoka evropeyskoy chasti SSSR (normativnye materialy dlya Arkhangel'skoy, Vologodskoy oblastey i Komi ASSR)* [Forest taxation reference book for the North-East of the European part of the USSR (regulatory materials for the Arkhangelsk, Vologda regions and the Komi ASSR)]. Arkhangel'sk: AIL i LKh, 1986, 558 p.
- [16] Rodin L.E. *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh* [Guidelines for the study of dynamics and the biological cycle in phytocenoses]. Leningrad: Nauka, 1968, 143 p.
- [17] Repola J. Biomass Equations for Birch in Finland. *Silva Fennica*, 2008, v. 42, no. 4, pp. 605–624.
- [18] Ramenskiy L.G. *Problemy i metody izucheniya rastiitel'nogo pokrova (izbrannye raboty)* [Problems and methods of studying land cover (selected works)]. Leningrad: Nauka, 1971, p. 334.
- [19] Kovalev N.V. *Resursnyy potentsial i tsenoticheskaya rol' ryabiny obyknovennoy (Sorbus aucuparia L.) v lesnykh ekosistemakh Leningradskoy oblasti*: avtoref. dis. na soisk kand. biol. nauk: 06.03.02. [Resource potential and cenotic role of common mountain ash (*Sorbus aucuparia* L.) in forest ecosystems of the Leningrad region: abstract. dis on the candidate. biol. Sciences: 06.03.02], SPb, 2012, 20 p.
- [20] Smirnov V.V. *Organicheskaya massa v nekotorykh lesnykh fitotsenozakh evropeyskoy chasti USSSR* [Organic mass in some forest phytocenoses of the European part of the USSR]. Moscow: Nauka, 1971, 362 p.
- [21] Utkin A.I. *Opreделение запасов углерода насazhdeniy na probnykh ploshchadyakh: sravnenie allometricheskogo i konversionno-ob'emnogo metodov* [Determination of carbon stocks of stands on trial plots: comparison of allometric and conversion-volumetric methods]. *Lesovedenie* [Forest studies], 1997, no. 5, pp. 51–65.
- [22] Tarasov S.I. *Dinamika fitomassy drevostoya listvenno-khvoynogo fitotsenoza sredney taygi Respubliki Komi* [Dynamics of phytomass of the stand of deciduous-coniferous phytocenosis of the middle taiga of the Komi Republic] *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forest Journal], 2018, no. 1, pp. 50–58.
- [23] Bagaev S.S. *Ob ostavlenii na kornyu faunoy osiny pri rubkakh smeshannykh lesnykh nasazhdeniy* [On the abandonment of fauna aspen during felling of mixed forest stands] *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Transactions of St. Petersburg Forestry Research Institute]. Saint Petersburg, 2013, no. 1, pp. 11–18.

## Author's information

**Pristova Tat'yana Aleksandrovna** — Cand. Sci. (Biology), Researcher of the Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, [pristova@ib.komisc.ru](mailto:pristova@ib.komisc.ru)

Received 04.09.2019.

Accepted for publication 03.12.2019.

## ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА УРБАНИЗИРОВАННОЙ ТЕРРИТОРИИ (НА ПРИМЕРЕ ЛЕСОВ ЗЕЛЕННОЙ ЗОНЫ ВЛАДИВОСТОКСКОЙ АГЛОМЕРАЦИИ)

Н.Г. Розломий

ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», 692510, Приморский край, г. Уссурийск, пр-т Блохера, д. 44

rozlomiyn@bk.ru

Представлена оценка экологического потенциала урбанизированной территории на примере лесов зеленой зоны Владивостокской агломерации, их экологическая и рекреационная емкости. Рассчитана фотосинтезирующая активность хвои видов *Pinus sylvestris* и *Pinus koraiensis*, объем выделенного кислорода. С помощью рекреационной плотности в пределах зеленой зоны установлена рекреационная нагрузка. Метод определения разрешенных рекреационных нагрузок состоит в подборе и закладке пробных площадей в экосистемах, подходящих стадии стабилизированной дигрессии и учете рекреационных нагрузок на них. Установлено, что все леса в пределах Большого Владивостока занимают обширные площади и наделены устойчивыми структурой и составом насаждений, поэтому могут выполнять рекреационные функции. К тому же ввиду разнообразных лесорастительных условий, различного месторасположения, эстетической ценности, общей биологической продуктивности и породного состава они наделены непохожей рекреационной пригодностью, в связи с чем вовлечены в рекреационную деятельность в различной степени. Сделан вывод о высокой газоустойчивости корейской сосны. Полученные данные свидетельствуют о том, что территория Владивостокской агломерации обладает высоким экологическим потенциалом, но при этом все породы наделены непохожей рекреационной пригодностью.

**Ключевые слова:** зеленая зона, урбанизированная территория, экологическая емкость, рекреационная емкость, фотосинтезирующая активность хвои, *Pinus sylvestris*, *Pinus koraiensis*, выделение кислорода

**Ссылка для цитирования:** Розломий Н.Г. Оценка экологического потенциала урбанизированной территории (на примере лесов зеленой зоны Владивостокской агломерации) // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 14–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-14-19

Актуальность рассматриваемой темы обусловлена недостатком изучения особенностей функционирования зеленой зоны городов и лесопарковых насаждений, отсутствием оценок ее состояния и поиска путей его оптимизации. Ввиду разных лесорастительных условий эти зоны обладают различной рекреационной пригодностью, вследствие чего по-разному вовлечены в рекреационную деятельность.

В настоящее время расширение урбанизации вызывает повышение антропогенной нагрузки на окружающую природную среду в городах, прежде всего, рост уровня загрязнения атмосферного воздуха. Городские территории увеличиваются в зависимости от следующих основных факторов: месторасположения, прироста населения и его миграции, развития инфраструктуры, а также от национальной стратегии развития и других политических, социальных и экономических факторов [1].

«Стратегия развития Дальнего Востока и Байкальского региона до 2025 года» (утверждена распоряжением Правительства Российской Федерации от 28 декабря 2009 года №2094-р) — это основной документ, в котором четко сформулирована государственная политика Российской Федерации по данному вопросу. В частности, она направлена на развитие Прибайкалья и Дальнего Востока более быстрыми темпами, что подкреплено значительными финансовыми инвестициями.

Хозяйственная деятельность общества, существенно изменяющая окружающую природную среду, вызывает необходимость регулярно проводить оценку ее состояния и степени благоприятности для жизнедеятельности не только человека, но и животного мира. Окружающую природную среду можно рассматривать по отдельным компонентам: атмосферному воздуху, водам, почвам, биоте и ландшафтам в целом [2]. Рассмотрение ландшафтов как цельных многокомпонентных геосистем обусловлено следующими особенностями [3]:

1) рассмотрением всего комплекса взаимодействующих компонентов и межкомпонентных связей;

2) фиксацией всего происходящего или ожидаемых изменений и их последствий.

От свойств и состояния ландшафтов зависят такие существенные для человека, но уязвимые при антропогенных воздействиях, как функции средо- и ресурсовоспроизведения.

По проекту «Большой Владивосток» территория вокруг Владивостока с системой городов — таких, как города Находка, Артем, Уссурийск, Партизанск, Большой Камень, образующих Владивостокскую городскую агломерацию, формирует промышленный район, для которого важно научно грамотно организовать зеленые зоны [4].

## Цель работы

Цель работы — определение экологической и рекреационной емкости лесов и зеленых насаждений Владивостокской агломерации.

## Материалы и методы исследований

Общая нагрузка на лес существенно возрастает с развитием промышленного комплекса и ростом городского населения, поэтому на данный момент устанавливаются нормы предельно допустимых нагрузок, проводятся мероприятия по регулированию пребывания людей в лесу [4]. Леса в Приморском крае занимают площадь 13,3 млн га, что равно 81 % всей территории края. Из них 11,3 млн га приходятся на леса лесного фонда и подведомственные Департаменту лесного хозяйства Приморского края, как указано в докладе об осуществлении департаментом лесного хозяйства Приморского края федерального государственного лесного надзора (лесной охраны) в области лесных отношений и об эффективности контроля (2015 г.) [5].

Новизна исследования заключается в проведении оценки экологического потенциала урбанизированной территории (на примере лесов зеленой зоны Владивостокской агломерации), которая ранее не проводилась [6].

Объектом исследования послужили леса зеленой зоны Владивостокской агломерации. Оценивались их экологическая и рекреационная емкость, фотосинтезирующая активность хвои *Pinus sylvestris* и *Pinus koraiensis* и выделение кислорода данными древесными породами [7–25].

Суть рекреационно-оздоровительных технологий заключается в их ориентации на оздоровление образа жизни общества и повышение культуры быта, удовлетворение разных рекреационных потребностей личности, в частности в физической реабилитации, укреплении и улучшении здоровья, интересном и содержательном досуге, насыщенной коммуникативной деятельности, психической релаксации и т. д. [8].

Установление рекреационной нагрузки в пределах зеленой зоны возможно с помощью рекреационной плотности —  $R_d$ , а посещаемость  $R_e$  (1) и интенсивность  $R_i$  (2) определяют по уравнениям:

$$R_e = R_d T t, \quad (1)$$

$$R_i = R_d T, \quad (2)$$

где  $T$  — продолжительность периода измерения рекреационной нагрузки, ч;

$t$  — среднее время одного посещения за период измерения, ч.

По данным проведенных исследований [9], этот коэффициент может принимать следующие значения: для дорожной рекреации — 0,01,

для бездорожной — 1,0. Для автотранспортной и транспортно-пешеходной рекреации этот коэффициент в абсолютном значении составляет 13,0 [1, 6, 10–13].

Суть метода определения разрешенных рекреационных нагрузок заключается в закладке и подборе пробных площадей в экосистемах, которые проходят стадии стабилизированной дигрессии, и учете рекреационных нагрузок на них. Допустимые рекреационные нагрузки в функциональных зонах определяются в следующих пределах:

В зоне тихого отдыха, чел/га ..... до 5

В зоне прогулочного отдыха, чел/га ..... до 20

В зоне активного отдыха, чел/га ..... от 20 до 100

Параметры экологической продуктивности лесов объединены в четыре группы [1]. Экологическая продуктивность в общем имеет вид:

$$Pэ = Kр + Вп + Сг + Рк, \quad (3)$$

где  $Kр$  — климатообразующие параметры;

$Вп$  — водоохранно-почвообразующие параметры;

$Сг$  — санитарно-гигиенических параметров;

$Рк$  — рекреационные параметры.

Общий оценочный балл  $Pэ$  насаждения при дифференцированном подходе определяется как средневзвешенное значение по коэффициенту корреляции между показателями экологической продуктивности и лесистостью из оценки отдельных показателей (табл. 1) [9, 10].

Сумма хлорофиллов и каротиноидов была определена спектрометрически с использованием методических разработок А.А. Шлыка и методических указаний Гавриленко и др. [11].

Образцы хвои первой вегетации с постоянной навеской 0,2 г отобраны в трехкратной повторности 6 раз в период с мая по октябрь. В лабораторных условиях получены вытяжки пигментов в ацетоне с добавлением этилового спирта. Экстракты пигментов вакуумным способом профильтрованы через стеклянный фильтр. Оптические плотности пигментных вытяжек установлены с помощью однолучевого автоматизированного спектрофотометра СФ-56 (ЛЮМО) по центрам поглощения: для хлорофилла  $a$  и  $b$  — 644 и 662 нм соответственно, для каротиноидов — 440,5 нм.

Основой расчета концентрации пигментов хлоропластов служили формулы Веттштейна для 100 %-го ацетона:

$$C_a = 9,78D_{662} - 0,99D_{644}, \quad (4)$$

$$C_b = 21,42D_{644} - 4,65D_{662}, \quad (5)$$

$$C_{a+b} = 5,13D_{662} + 20,43D_{644}, \quad (6)$$

$$C_{кар} = 4,69D_{440,5} - 0,268(C_{a+b}), \quad (7)$$

где  $C_a$ ,  $C_b$ ,  $C_{кар}$  — соответственно концентрация хлорофиллов  $a$ ,  $b$  и каротиноидов, мг/л;

$D$  — оптическая плотность в центрах поглощения пигментов 662, 644, 440,5 нм.

Содержание пигментов в хвое находим по формуле

$$A = (CV) | (P \times 1000), \quad (8)$$

где  $A$  — содержание пигмента на 1 г сырой навески, мг;

$C$  — концентрация пигмента после расчета по формулам (1)–(4), мг/л;

$V$  — объем вытяжки пигмента, мл;

$P$  — навеска хвои, г.

Подробный расчет содержания пигментов имеет вид

$$A_a = C_a(10 / 200), \quad (9)$$

$$A_b = C_b(10 / 200), \quad (10)$$

$$A_{a+b} = C_{\text{кар}}(10 / 200), \quad (11)$$

$$A_{a+b+\text{кар}} = C_{a+b+\text{кар}}(10 / 200). \quad (12)$$

## Результаты обсуждения

Земли Уссурийского и Владивостокского лесничеств составляют основную территорию зеленой зоны Владивостокской агломерации (табл. 1).

Таким образом, при общей экологической емкости по выбранным кварталам лесничеств — 67982 чел. и рекреационной — 57106 чел. можно говорить о высоком экологическом потенциале территорий. Именно они будут основой создания зеленого пояса Владивостокской агломерации.

Кислородно-углеродный баланс имеет в экологической емкости наибольшее значение, существенно различаясь в отдельных древесных породах [14].

Главную роль в обогащении атмосферы кислородом играют мягколиственные и сосновые по-

роды (табл. 2). Расчет отобранного насаждениями кислорода ( $C_t$ ) проведен по формуле [4]

$$C_t = 1,45VE, \quad (13)$$

где  $C_t$  — суммарная биомасса в пересчете на углерод в год учета  $t$ , т;

$V$  — запас древесины в насаждении, м<sup>3</sup>/га;

$E$  — коэффициент пересчета запаса в биомассу.

Содержание хлорофиллов в абсолютном значении по сосне корейской составило 24,3 мг/л, что только на 1,2 % превысило его содержание по сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris*). Общее содержание хлорофиллов и каратиноидов незначительно выше в сосне корейской (*Pinus koraiensis*) — на 2,1 %.

Подобная картина наблюдается при определении содержания пигментов в сырой навеске. Так, абсолютное значение уровня хлорофиллов в сосне корейской составил 1,21 мг/г, а в сосне обыкновенной — 1,20 мг/г. Общее содержание хлорофиллов и каратиноидов в сосне корейской составило 1,45 мг/г, а в сосне обыкновенной 1,43 мг/г.

Таким образом, наибольшее благоприятное воздействие на ионный состав атмосферного воздуха и его общее состояние оказывают сосны корейская и обыкновенная, что характеризуется высокой концентрацией пигментов и, как результат, высокой интенсивностью фотосинтеза (табл. 3).

По данным математической обработки видно, что хвойные растения на аэротехногенное воздействие могут реагировать по-разному. Более подробные данные представлены в работе [15]. Результаты проведенных нами исследований (см. табл. 3), позволяют выделить значительные

Т а б л и ц а 1

**Экологическая продуктивность лесов зеленой зоны Владивостокской агломерации**  
Ecological productivity of forests in the green zone of the Vladivostok agglomeration

Параметр	Владивостокское лесничество	Уссурийское лесничество	Владивостокская агломерация
Лесопокрытая площадь, га	4733,2	1610	6407
Общая рекреационная емкость, чел./год	46878,8	10227,6	57106,4
Средняя экологическая продуктивность, балл	81,7	79,2	80,45
Общая экологическая емкость, чел./год	54341,0	13641,9	67982,9

Т а б л и ц а 2

**Выделение кислорода основными лесообразующими породами**  
Oxygen release by the main forest-forming rocks

Преобладающие породы	Общая площадь, га	Среднегодовой прирост, м <sup>3</sup> /год	Выделенный кислород, т
Сосна (корейская, обыкновенная)	20315,7	83654,2	41827,1
Пихта	21,8	49,4	24,7
Дуб	156 201,5	468 603,1	234 301,5
Береза	89 231,1	267 693,2	133 846,1
Липа	92,2	276,6	138,3
Ольха	439,3	1098,25	549,125
<b>Итого</b>	<b>266 301,6</b>	<b>821 375,1</b>	<b>410 686,8</b>

**Концентрация и содержание пигментов хлоропластов в хвое 2-го года  
у сосны корейской и сосны обыкновенной, произрастающих на расстоянии 23-х км  
от г. Уссурийска (территория Владивостокской агломерации)**

**Concentration and content of chloroplast pigments in the needles of the second year in Korean pine and Scots pine,  
growing at a distance of 23 km from the city of Ussuriysk (the territory of the Vladivostok agglomeration)**

Номер пробы	Содержание пигментов, мг/л					Содержание пигментов сырой навески, мг/г				
	Хл <sub>a</sub>	Хл <sub>b</sub>	Хл <sub>a+b</sub>	Кар	Хл <sub>a+b+кар</sub>	Хл <sub>a</sub>	Хл <sub>b</sub>	Хл <sub>a+b</sub>	Кар	Хл <sub>a+b+кар</sub>
Сосна корейская										
1	17,30	6,65	23,95	4,79	28,74	0,87	0,33	1,20	0,24	1,44
2	18,43	6,96	25,37	4,93	30,30	0,92	0,35	1,27	0,25	1,52
3	17,21	6,48	23,69	4,81	28,50	0,86	0,32	1,18	0,24	1,42
<b>Среднее значение</b>	<b>17,65</b>	<b>6,70</b>	<b>24,34</b>	<b>4,84</b>	<b>29,18</b>	<b>0,88</b>	<b>0,33</b>	<b>1,21</b>	<b>0,24</b>	<b>1,45</b>
Сосна обыкновенная										
1	17,21	6,48	23,69	4,53	28,22	0,86	0,32	1,18	0,23	1,41
2	17,69	6,47	24,16	4,65	28,81	0,88	0,32	1,21	0,23	1,44
3	17,38	6,82	24,20	4,63	28,83	0,87	0,34	1,21	0,23	1,44
<b>Среднее значение</b>	<b>17,43</b>	<b>6,59</b>	<b>24,02</b>	<b>4,60</b>	<b>28,62</b>	<b>0,87</b>	<b>0,33</b>	<b>1,20</b>	<b>0,23</b>	<b>1,43</b>
<b>Существенность различия, <i>t</i></b>	<b>1,3</b>	<b>7</b>	<b>3,4</b>	<b>8</b>	<b>3,2</b>	<b>2,5</b>	<b>4</b>	<b>3,6</b>	<b>3,7</b>	<b>3,9</b>

различия по всем представленным параметрам, которые превосходят порог ( $t = 3$ ). Кроме того, наблюдается идентичность устойчивости хлорофилла *a* к атмосферному загрязнению обыкновенной и корейской сосен.

## Выводы

Установлена высокая газоустойчивость сосны корейской, связанная с показателем существенности различий содержания хлорофилла *a* и хлорофилла *b* и каротиноидов.

Все леса в пределах Большого Владивостока могут выполнять рекреационные функции [12].

По показателям средней П<sub>3</sub> покрытой лесом площади, общей экологической емкости по выбранным кварталам лесничеств и рекреационной емкости можно утверждать, что Владивостокская агломерация является территорией с высоким экологическим потенциалом.

## Список литературы

- [1] Воронков П.Т., Дудина Е.А. Методика экономической оценки лесов. М.: Министерство природных ресурсов РФ, 2001, 26 с.
- [2] Гитарский М.Л. Влияние промышленных выбросов на поглощение лесами диоксида углерода из атмосферы // Метеорология и гидрология, 2005. № 11. С. 33–38.
- [3] Tratalos J., Fuller R.A., Warren P.H., Davies R.G., Gaston K.J. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services // Landscape and Urban Planning, 2007, no. 83, Iss. 4, pp. 308–317.
- [4] Гитарский М.Л., Замолотчиков Д.Г., Коровин Г.Н., Карабань Р.Т. Эмиссия и поглощение парниковых газов в лесном секторе страны как элемент выполнения обязательств по климатической конвенции ООН // Лесоведение, 2006. № 6. С. 34–44.
- [5] Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации», Приморский край, 2015 г. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29234764> (дата обращения 24.05.2019).
- [6] Sultanova R.R., Gabdrahimov K.M., Khayretdinov A.F., Konashova S.I., Kononov V.F., Blonskaya L.N., Sabirzyanov I.G., Martynova M.V., Isyanyulova R.R., Gabdelkhakov A.K. Evaluation of ecological potential of forests // Journal of Engineering and Applied Sciences, 2018, t. 13, no. S8, pp. 6590–6596.
- [7] Kalugina O.V., Mikhailova T.A., Shergina O.V. Pinus sylvestris as a bio-indicator of territory pollution from aluminum smelter emissions // Environmental science and pollution research, 2017, no. 24(11), pp. 10279–10291. DOI: 10.1007/s11356-017-8674-5.
- [8] Wong T.H., Brown F. Water-Sensitive City: Principles for Practice // Water, Science and Technology, 2009, no. 60 (3), pp. 673–682.
- [9] Сериков М.Т. О проектировании освоения защитных лесов рекреационного назначения // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал, 2008. № 6. С. 50–53.
- [10] Титова М.С., Розломий Н.Г. Реакция пигментной системы сосны обыкновенной на техногенное загрязнение на территории исторически значимых объектов г. Уссурийска // Вестник КрасГуа, 2014. № 4. С. 170–173.
- [11] Шлык А.А. Определение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев // Биохимические методы в физиологии растений. М.: Наука, 1971. С. 154–171.
- [12] Тарасов А.И. Рекреационное лесопользование. М.: Агропромиздат, 1986. 176 с.
- [13] Tratalos J., Fuller R.A., Warren P.H., Davis R.G., Gaston C.J. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services // Landscape and Urban Planning, 2007, no. 83, pp. 308–317.
- [14] Walker B.H., Carpenter S.R., Rockstrom J., Krepin A.S., Peterson G.D. Drivers, «slow» variables, «fast» variables, shocks and stability // Ecology and Society, 2012, no. 17(3), pp. 30.

- [15] Доклад об осуществлении департаментом лесного хозяйства Приморского края федерального государственного лесного надзора (лесной охраны) в области лесных отношений и об эффективности контроля, 2015 год. URL: <http://monitoring.zspk.gov.ru/%D1%84%D0%B0%D0%B9%D0%BB/1679657/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0/D0%B4-pdf> (дата обращения 24.05.2019).
- [16] Walker B.H., Salt D. Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world. Island Press, Washington DC., 2006. URL: <https://www.oalib.com/references/8429064> (дата обращения 24.05.2019).
- [17] Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., Kinzig A. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems // *Ecology and Society*, 2004, № 9 (2), p. 5. URL: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/> (дата обращения 24.05.2019).
- [18] Гуков Г.В., Розломий Н.Г. Оценка рекреационного потенциала зеленой зоны г. Уссурийска (Южное Приморье) // *Вестник ИрГСХА*, 2011. № 44. С. 38–46.
- [19] Чижова В.П. Рекреационные нагрузки в зонах отдыха. М.: Мысль, 1977. 421 с.
- [20] Scheffer M., Carpenter S., Foley J.A., Folke C., Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems // *Nature*, 2001, v. 413, pp. 591–596.
- [21] The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management. Женева: TEEB, 2011, 48 p. URL: [http://www.teebweb.org/wpcontent/uploads/Study%20and%20Reports/Additional%20Reports/Manual%20for%20Cities/TEEB%20Manual%20for%20Cities\\_English.pdf](http://www.teebweb.org/wpcontent/uploads/Study%20and%20Reports/Additional%20Reports/Manual%20for%20Cities/TEEB%20Manual%20for%20Cities_English.pdf) (дата обращения 24.05.2019).
- [22] Gukov G.V., Rozlomi N.G. Creation of a steady Green Belt «the Big Vladivostok» // GISAP. Biology, veterinary medicine and agricultural sciences, 2014, no. 3, pp. 42–44.
- [23] Li C.F., Cao J.F., Lu J.S., Yao L. Ecological risk assessment of soil heavy metals for different types of land use and evaluation of human health // *Huan Jing Ke Xue*, 2018, no. 39(12), pp. 5628–5638.
- [24] Shandas V., Messer W.B. Fostering Green Communities Through Civic Engagement: Community-Based Environmental Stewardship in the Portland Area // *Journal of the American Planning Association*, 2008, v. 74, iss. 4, pp. 408–418.
- [25] Semadeni-Davies A. Implications of climate and urban development on the design of sustainable urban drainage systems (SUDS) // *Journal of Water and Climate Change*, 2012, no. 3 (4), pp. 239–256.

## Сведения об авторе

**Розломий Наталья Геннадьевна** — канд. биол. наук, доцент кафедры лесной таксации, лесоустройства и охотоведения, ФГБОУ ВО «Приморская государственная сельскохозяйственная академия», [rozlomiyn@bk.ru](mailto:rozlomiyn@bk.ru)

Поступила в редакцию 03.09.2019.

Принята к публикации 10.10.2019.

## ECOLOGICAL POTENTIAL OF URBANIZED TERRITORY (ON EXAMPLE OF GREEN ZONE FORESTS OF VLADIVOSTOK AGGLOMERATION)

**N.G. Rozlomi N.G.**

Primorsky State Agricultural Academy, 44, Blucher av., 692510, Ussuriysk, Primorsky Krai, Russia

[rozlomiyn@bk.ru](mailto:rozlomiyn@bk.ru)

The object of the research is the forests of the green zone of the Vladivostok agglomeration, their ecological and recreational capacities. The photosynthesizing activity of the needles *Pinus sylvestris* and *Pinus koraiensis*, the oxygen release of tree species is calculated. Recreational load within the green zone is established using recreational density. All forests within the boundaries of the Big Vladivostok can perform recreational functions, which occupy at the same time fairly large areas and are endowed with a stable structure and composition of plantations. However, in modern economic conditions and in view of various forest growing conditions, different location, aesthetic value and overall biological productivity, as well as the species composition, they are endowed with an unlikely recreational fitness, due to which they are involved in recreational activities to various degrees. The results of the study lead to the conclusion that the Korean pine is more resistant to gas. The data obtained indicate that the territory of the Vladivostok agglomeration has a high ecological potential. But at the same time, all breeds are endowed with an unlikely recreational fitness.

**Keywords:** green zone, urbanized territory, ecological capacity, recreational capacity, photosynthesizing activity of needles, *Pinus sylvestris*, *Pinus koraiensis*, oxygen release

**Suggested citation:** Rozlomi N.G. *Otsenka ekologicheskogo potentsiala urbanizirovannoy territorii (na primere lesov zelenoy zony Vladivostokskoy aglomeratsii)* [Ecological potential of urbanized territory (on example of green zone forests of Vladivostok agglomeration)]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 14–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-14-19

## References

- [1] Voronkov P.T., Dudina E.A. *Metodika ekonomicheskoy otsenki lesov* [Methods of economic assessment of forests]. Moscow: Ministry of Natural Resources of the Russian Federation, 2001, 26 pp.
- [2] Gitarskiy M.L. *Vliyaniye promyshlennykh vybrosov na pogloshcheniye lesami dioksida ugleroda iz atmosfery* [The effect of industrial emissions on the absorption of carbon dioxide from the atmosphere by forests] *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2005, no. 11, pp. 33–38.

- [3] Tratalos J., Fuller R.A., Warren P.H., Davies R.G., Gaston K.J. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 2007, no. 83, Iss. 4, pp. 308–317.
- [4] Gitarskiy M.L., Zamolodchikov D.G., Korovin G.N., Karaban' R.T. *Emissiya i pogloshchenie parnikovyykh gazov v lesnom sektore strany kak element vypolneniya obyazatel'stv po klimaticheskoy konventsii OON* [Emission and absorption of greenhouse gases in the country's forest sector as an element of fulfilling obligations under the UN climate convention]. *Lesovedenie* [Forestry], 2006, no. 6, pp. 34–44.
- [5] *Gosudarstvennyy doklad «O sostoyanii i ob okhrane okruzhayushchey sredy Rossiyskoy Federatsii», Primorskiy kray, 2015 g.* [State report «On the State and Environmental Protection of the Russian Federation», Primorsky Territory, 2015. Available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29234764> (accessed 24.05.2019).
- [6] Sultanova R.R., Gabdrahimov K.M., Khayretdinov A.F., Konashova S.I., Kononov V.F., Blonskaya L.N., Sabirzyanov I.G., Martynova M.V., Isyanyulova R.R., Gabdelkhakov A.K. Evaluation of ecological potential of forests. *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2018, t. 13, no. S8, pp. 6590–6596.
- [7] Kalugina O.V., Mikhailova T.A., Shergina O.V. Pinus sylvestris as a bio-indicator of territory pollution from aluminum smelter emissions. *Environmental science and pollution research*, 2017, no. 24(11), pp. 10279–10291. DOI: 10.1007/s11356-017-8674-5.
- [8] Wong T.H., Brown F. Water-Sensitive City: Principles for Practice. *Water, Science and Technology*, 2009, no. 60 (3), pp. 673–682.
- [9] Serikov M.T. *O proektirovani osvoeniya zashchitnykh lesov rekreatsionnogo naznacheniya* [About designing development of protective forests for recreational purposes]. *IVUZ. Lesnoy zhurnal* [IVUZ. Forest Journal], 2008, no. 6, pp. 50–53.
- [10] Titova M.S., Rozlomi N.G. *Reaktsiya pigmentnoy sistemy sosny obyknovnoy na tekhnogennoe zagryaznenie na territorii istoricheski znachimyykh ob'ektov g. Ussuriyska* [The reaction of the pigment system of Scots pine to technogenic pollution in the territory of historically significant objects of the city of Ussuriysk]. *Vestnik KrasGau*, 2014, no. 4, pp. 170–173.
- [11] Shlyk A.A. *Opreделение хлорофиллов и каротиноидов в экстрактах зеленых листьев* [Determination of chlorophylls and carotenoids in green leaf extracts]. *Biokhimicheskie metody v fiziologii rasteniy* [Biochemical methods in plant physiology]. Moscow: Nauka, 1971, pp. 154–171.
- [12] Tarasov A.I. *Rekreatsionnoe lesopol'zovanie* [Recreational forest management]. Moscow: Agropromizdat, 1986, 176 p.
- [13] Tratalos J., Fuller R.A., Warren P.H., Davis R.G., Gaston C.J. Urban form, biodiversity potential and ecosystem services. *Landscape and Urban Planning*, 2007, no. 83, pp. 308–317.
- [14] Walker B.H., Carpenter S.R., Rockstrom J., Krepin A.-S., Peterson G.D. Drivers, «slow» variables, «fast» variables, shocks and stability. *Ecology and Society*, 2012, no. 17(3), pp. 30.
- [15] *Doklad ob osushchestvlenii departamentom lesnogo khozyaystva Primorskogo kraja federal'nogo gosudarstvennogo lesnogo nadzora (lesnoy okhrany) v oblasti lesnykh otnoшений i ob effektivnosti kontrolya, 2015 god.* [Report on the implementation by the forestry department of the Primorsky Territory of federal state forest supervision (forest protection) in the field of forest relations and on the effectiveness of control], 2015. Available at: <http://monitoring.zspk.gov.ru/%D1%84%D0%B0%D0%B9%D0%BB/1679657/%D0%94%D0%BE%D0%BA%D0%BB%D0%B0%D0%B4-pdf> (accessed 24.05.2019).
- [16] Walker B.H., Salt D. *Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world*. Island Press, Washington DC., 2006. Available at: <https://www.oalib.com/references/8429064> (accessed 24.05.2019).
- [17] Walker B., Holling C.S., Carpenter S.R., Kinzig A. Resilience, adaptability and transformability in social-ecological systems. *Ecology and Society*, 2004, № 9 (2), p. 5. Available at: <http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss2/art5/> (accessed 24.05.2019).
- [18] Gukov G.V., Rozlomi N.G. *Otsenka rekreatsionnogo potentsiala zelenoy zony g. Ussuriyska (Yuzhnoe Primor'ye)* [Assessment of the recreational potential of the green zone of Ussuriysk (South Primorye)] *Vestnik IrGSKhA*, 2011, no. 44, pp. 38–46.
- [19] Chizhova V.P. *Rekreatsionnye nagruzki v zonakh otdykha* [Recreational loads in recreation areas]. Moscow: Mysl' [Thought], 1977, 421 p.
- [20] Scheffer M., Carpenter S., Foley J.A., Folke C., Walker B. Catastrophic shifts in ecosystems. *Nature*, 2001, v. 413, pp. 591–596.
- [21] *The Economics of Ecosystems and Biodiversity. Manual for Cities: Ecosystem Services in Urban Management*. Женева: TEEB, 2011, 48 p. Available at: [http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Additional%20Reports/Manual%20for%20Cities/TEEB%20Manual%20for%20Cities\\_English.pdf](http://www.teebweb.org/wp-content/uploads/Study%20and%20Reports/Additional%20Reports/Manual%20for%20Cities/TEEB%20Manual%20for%20Cities_English.pdf) (accessed 24.05.2019).
- [22] Gukov G.V., Rozlomi N.G. Creation of a steady Green Belt «the Big Vladivostok». *GISAP. Biology, veterinary medicine and agricultural sciences*, 2014, no. 3, pp. 42–44.
- [23] Li C.F., Cao J.F., Lu J.S., Yao L. Ecological risk assessment of soil heavy metals for different types of land use and evaluation of human health. *Huan Jing Ke Xue*, 2018, no. 39(12), pp. 5628–5638.
- [24] Shandas V., Messer W.B. Fostering Green Communities Through Civic Engagement: Community-Based Environmental Stewardship in the Portland Area. *Journal of the American Planning Association*, 2008, v. 74, iss. 4, pp. 408–418.
- [25] Semadeni-Davies A. Implications of climate and urban development on the design of sustainable urban drainage systems (SUDS). *Journal of Water and Climate Change*, 2012, no. 3 (4), pp. 239–256.

## Author's information

**Rozlomi Natal'ya Gennad'evna** — Cand. Sci. (Biology), Associate Professor of the Primorskaya State Agricultural Academy, [rozlomiyn@bk.ru](mailto:rozlomiyn@bk.ru)

Received 03.09.2019.

Accepted for publication 10.10.2019.

## СПОСОБЫ ДОСТИЖЕНИЯ ВЫРАЗИТЕЛЬНОСТИ ГОРОДСКОГО ПРОСТРАНСТВА НА ПРИМЕРЕ СТРЕЛКИ ВАСИЛЬЕВСКОГО ОСТРОВА

А.А. Дужинская, В.В. Дормидонтова

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

v.dormidontova@mail.ru

Выразительность пространства является важным условием его востребованности. Архитектурное пространство города включает и озелененные пространства. К сожалению, далеко не всегда растительные формы учитывают формы архитектурные, хотя и удовлетворяют требованиям нормативного озеленения. Однако пространственная выразительность требует композиционной связанности всех элементов, формирующих пространство, осознанно выстроенной архитектурно-ландшафтной композиции. Статья посвящена изучению приемов гармоничного взаимодействия архитектуры и растительных форм на примере ансамбля Стрелки Васильевского острова. Работа включала натурные обследования, фотофиксацию, изучение исторических, историко-архитектурных и краеведческих, литературных источников и документов. Изучена история формирования Биржевого сквера. Выполнен сравнительный композиционный анализ композиции 1894 г. (проект архитектора Н.М. Салько) и композиции 1926 г. (архитектор Л.А. Ильин). Рассмотрены основные приемы взаимодействия архитектурных и природных форм и элементов, посредством которых Стрелка Васильевского острова приобрела качество ансамбля. В ходе анализа выявлены средства композиции, позволяющие добиться наибольшей образности места, а также композиционная роль ландшафтных форм в организации открытых пространств. Сделан вывод о том, что рассматриваемый ансамбль был одним из первых ландшафтных проявлений конструктивизма, выражением динамики новой строящейся страны и почти уже сто лет сохраняет свою современность, являясь образцом гармоничного взаимодействия архитектурных и природных форм. Также сделан вывод о том, что подобные объекты дали мощный толчок развитию мировой ландшафтной архитектуры XX века, поскольку именно они начали формирование комплекса композиционных приемов минимализма.

**Ключевые слова:** эмоциональная выразительность, архитектурно-ландшафтные приемы, открытое пространство, растительность, композиция

**Ссылка для цитирования:** Дужинская А.А., Дормидонтова В.В. Способы достижения выразительности городского пространства на примере стрелки Васильевского острова // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 20–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-20-24

Комплексное благоустройство открытых городских пространств с применением архитектурно-ландшафтных приемов формирует у жителей и гостей города его образ. Ключевую роль в этом играет качество эстетической и эмоциональной пространственной выразительности, которая является важным условием его востребованности. Архитектурное пространство города включает и озелененные пространства. К сожалению, далеко не всегда растительные формы учитывают формы архитектурные, хотя и удовлетворяют требованиям нормативного озеленения. Однако пространственная выразительность требует композиционной связанности всех элементов, формирующих пространство, осознанно выстроенной архитектурно-ландшафтной композиции.

Во второй половине XX в. сформировалась проблема психологического дискомфорта, возникающего у человека в процессе восприятия городской среды с маловыразительным или многократно повторяющимся, однообразным набором элементов. «Многие из современных недугов человека, очевидно, представляют собой не более, чем свидетельство его сопротивления физическому

окружению при все увеличивающемся разрыве между тем, чего он жаждет, и тем давящим искусственным окружением, которое, мы, проектировщики, до сих пор для него создаем» [1] «Прогрессирующую безликость многих наших открытых городских пространств и отсутствие экологического смысла в их организации, можно отнести к числу основных факторов, определяющих необходимость более широкого взгляда на проблему» [2]. Выявление архитектурно-ландшафтных приемов, способствующих созданию гармоничных художественно выразительных произведений [3], которые способствовали бы устранению данной проблемы при дальнейшем развитии городов, является важной задачей современных архитекторов. Повышение внимания к человеческому масштабу — это выражение потребности в более высоком качестве городской жизни [4].

### Цель работы

Цель работы — изучение приемов гармоничного взаимодействия архитектуры и растительных форм на примере ансамбля Стрелки Васильевского острова.

## Материалы и методы

Проведены натурные обследования, фотофиксация, изучены исторические, историко-архитектурные и краеведческие документы, литературные источники.

## Результаты и обсуждение

Искусство — непрерывный процесс, и какие бы новые обстоятельства не возникали перед проектировщиками, практически невозможно создать произведения искусства, не имеющие аналогов в прошлом [5]. Санкт-Петербург отличается большим количеством открытых пространств, отличающихся эстетической и эмоциональной выразительностью. Особенно интересен его исторический центр — главное композиционное ядро города, важной частью которого является Стрелка Васильевского острова, архитектурный ансамбль которой был создан в начале XIX в. и дополнен Биржевым сквером в 1894 г. (рис. 1) [6].

Биржевой сквер имел форму полукруга, раскрытого к Биржевой площади. Планировка — симметрично-центрическая. По границе дугообразной набережной р. Невы шла дорожка, повторявшая ее контуры. Она прерывалась полукруглой площадкой, обращенной к р. Неве. Центром композиции была круглая узорчатая клумба диаметром 21,3 м с кольцевой дорожкой, выложенной плитками. Ее обрамляли две симметричные пары куртин, окруженные дорожкой овальных очертаний. Вокруг были разбиты еще две симметрично расположенные пары древесно-кустарниковых куртин, прилегавшие к дугообразной дорожке и стороне сквера, выходившей на Биржевую площадь. В сквер вели три входа, расположенные со стороны площади. От них к кольцевой дорожке были проложены центральная широкая прямая дорожка и две криволинейные боковые. Центральная дорожка затем продолжалась до полукруглой площадки у набережной р. Невы. Со стороны р. Невы ограждением сквера служил парапет набережной, со стороны площади — железная решетка, в центре которой были устроены двустворчатые ворота с вызолоченными гербами. Площадку у набережной украшала терракотовая ваза для цветов, установленная на пьедестале в виде колонны [6].

Парадный характер Биржевого сквера был нарушен в голодные 1920-е гг. На его территории был разбит огород, а наводнение 1924 г. и вовсе полностью разрушило этот сквер.

В 1925–1926 гг. по проекту советского архитектора Л.А. Ильина был разбит новый сквер, а с ним сформировался облик архитектурного ансамбля Стрелки Васильевского острова, которым мы любуемся в наши дни (рис. 2). Планировка стала

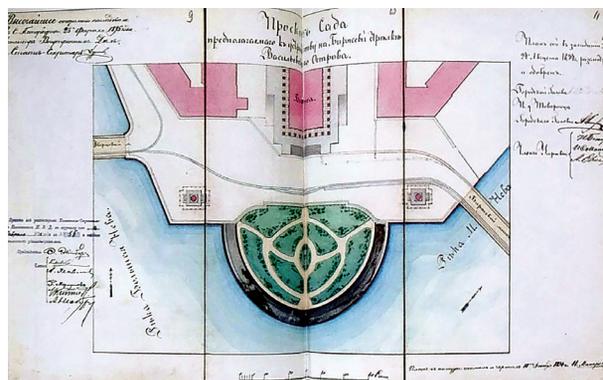


Рис. 1. Проект сада 1894 г. Архитектор Н.М. Салько [7]  
Fig. 1. The project of the garden of 1894. Architect N.M. Salko [7]

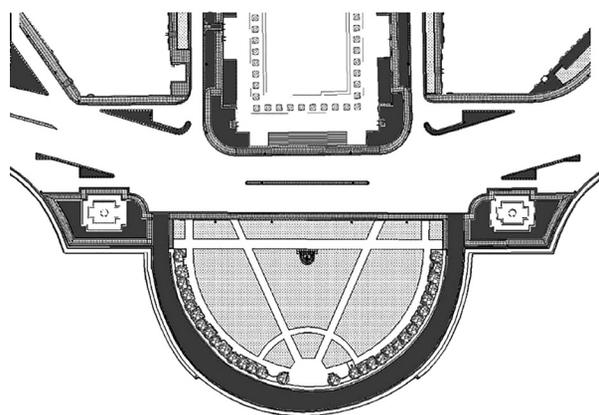


Рис. 2. План Биржевого сквера 1926 г. Архитектор Л.А. Ильин [7]  
Fig. 2. Plan of the Exchange Square 1926. Architect L.A. Ilyin [7]

регулярной, композиционное решение довольно лаконично, но не лишено динамики.

Главным пространствоорганизующим элементом ансамбля является здание Биржи. Как архитектурная доминанта оно задает ось для построения симметричной композиции, масштаб и пропорции ее объемно-пространственного решения. Сохранилась полукруглая площадка у набережной р. Невы, которая выявляется полукруглой дорожкой и ковровым цветником. На площадке установлен памятный камень — центр композиции сквера. К площадке сходятся два диагональных луча — прямолинейные дорожки, формирующие стрелку, вытянутую вдоль оси, заданной зданием Биржи, а также дугообразные дорожки вдоль парапета набережной с рядовыми посадками липы и живыми изгородями. Ограда сквера заменена гранитными тумбами с цепями.

Пространство объекта соразмерно человеку: оценка архитектурных элементов и насаждений посетителем происходит в соответствии с его психофизиологическими возможностями воспринимать соотношение их величин [8]. Находясь в любой точке сквера, в том числе сидя на скамье, человек способен одним взглядом охватить целиком и рядо-

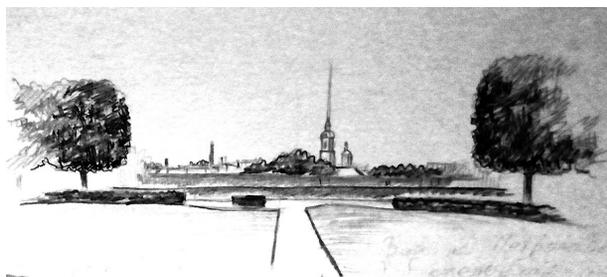


Рис. 3. Вид на Петропавловскую крепость  
Fig. 3. View of the Peter and Paul's Fortress

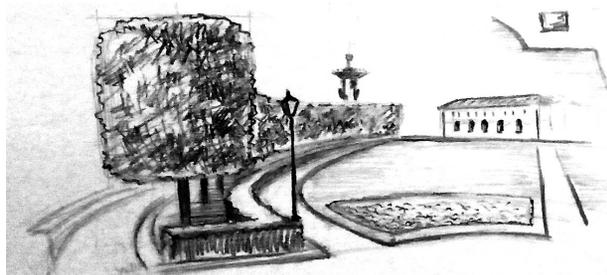


Рис. 4. Рядовая посадка липы  
Fig. 4. Linden row planting

вые посадки стриженной липы, и монументальность здания Биржи, и красоту ростральных колонн. А панорамы реки, открывающиеся с полукруглой смотровой площадки, обогащают ансамбль пространствами монументального масштаба.

Движение по скверу организовано прямыми и дугообразными линиями дорог, которые стремятся к полукруглой площадке — центру композиции, откуда открываются лучшие внутренние виды и внешние панорамы.

Сложившееся пространство архитектурного ансамбля и сквера кажется замкнутым благодаря использованию рядовых посадок деревьев, которые, стремясь сомкнуться, придают этому месту некоторую камерность, являясь в тоже время кулисами открывающихся видов. Открытое пространство сквера занимают газон, ковровый цветник и дорожки с покрытием из гравийной отсыпки.

Композиционная роль растений в ансамбле Стрелки Васильевского острова невелика. В основном это рядовые посадки деревьев в сочетании со стриженными живыми изгородями, выполняющие функцию кулис, неких ширм, изолирующих сквер от неблагоприятных ветров с реки и фрагментирующие панораму р. Невы в последовательность наиболее интересных видов — Петропавловскую крепость (рис. 3), застройку левого берега р. Невы. Ритм стволов, повторяющий колоннаду здания Биржи, и четкая линия изгороди повторяют дугообразную линию мыса и дополняют динамику планировочного решения сквера (рис. 4). Цветники здесь подчеркивают главную полукруглую смотровую площадку,

служат фоном восприятия памятного камня и здания Биржи. Малые архитектурные формы — Памятный камень и якорь-кошка — закрепляют композиционную ось ансамбля, а белые скамьи, установленные вдоль рядовых посадок, поддерживают и усиливают сложившийся ритм.

## Выводы

В ансамбле Стрелки Васильевского острова используется несколько основных архитектурно-ландшафтных приемов: сдержанная симметричная регулярная планировка с четко обозначенной композиционной осью и центрами; динамическая конфигурация растительного материала, обладающего множеством точек выгодного визуального восприятия [9]; расположение ландшафтных компонентов по динамическим направлениям относительно основных маршрутов. Природные формы на исследуемом объекте выполняют важную, но не ключевую, а соподчиненную роль. Они дополняют композицию, повторяя ритм фасада здания, направляют взгляд посетителя на привлекательные виды, создают более комфортные психофизиологические условия, делая пространство камерным и соразмерным человеку. Открытое пространство газона объединяет в единое пространство объемы зданий и насаждений, позволяет наилучшим образом оценить архитектуру и растительные формы. Среди основных приемов композиции, примененных на данном объекте, можно выделить следующие: пропорциональность, соподчиненность элементов и подобие форм, симметрию, продуманное использование линейной и воздушной перспективы, ритм, контраст и архитектурную стрижку растений.

Среда города нуждается в природных компонентах, но, безусловно доминирующая архитектура «накладывает обязательства» подчинения природы ритмам, метрам, геометрии застройки и масштабам уже сложившихся пространств [10–13, 19, 20]. Рассматриваемый ансамбль был одним из первых ландшафтных проявлений конструктивизма [14–18, 21], выражением динамики новой строящейся страны и почти уже 100 лет сохраняет свою современность, являясь образцом гармоничного взаимодействия архитектурных и природных форм. Подобные объекты дали мощный толчок развитию мировой ландшафтной архитектуры XX в., поскольку именно они начали формирование комплекса композиционных приемов триумфально шествующего сегодня по миру минимализма.

## Список литературы

- [1] Саймондс Д.О. Ландшафт и архитектура. М.: Книга по Требованию, 2013. С. 192.
- [2] Нефедов В.Ф. Ландшафтный дизайн и устойчивость среды. СПб.: Стройиздат, 2002. С. 143.

- [3] Степанов А.В., Мальгин И.В. Объемно-пространственная композиция. М.: Архитектура-С, 2007. С. 256.
- [4] Гейл Я. Города для людей. М.: Концерн «Крост», 2012. С. 276.
- [5] Джеллико Дж. Ландшафт человека. М.: Виктория-Друк, 2016. С. 400.
- [6] Стрелка Васильевского острова // Citywalls. URL: <http://www.citywalls.ru/house/27754.html> (дата обращения 07.07.2019).
- [7] Биржевой сквер // Citywalls. URL: <http://www.citywalls.ru/house/27662.html?s=cr9rs7aa7iecenb0droq7fqun0> (дата обращения 07.07.2019).
- [8] Разумовский Ю.В., Фурсова Л.М., Теодоронский В.С. Ландшафтное проектирование. М.: Форум, 2012. С. 144.
- [9] Гончаров М.Н. Городская площадь. Основные стилевые этапы развития и архитектурно-ландшафтные приемы как норма их эстетической выразительности // Вестник ИрГТУ, 2009. URL: <https://cyberleninka.ru/article/v/gorodskaya-ploschad-osnovnye-stilevye-etapy-razvitiya-i-arhitekturno-landshaftnye-priyomy-kak-norma-ih-esteticheskoy-vyrazitelnosti> (дата обращения 07.07.2019).
- [10] Гуськова Е.В. Эмоциональные акценты городских открытых пространств // Нижегородская областная общественная организация ландшафтных архитекторов. URL: <http://alairn.ru/kg/7/?nid=242&a=entry.show> (дата обращения 07.07.2019).
- [11] Боговая И.О., Фурсова Л.М. Ландшафтное искусство. М.: Агропромиздат, 1988. С. 223.
- [12] Саваренская Т.Ф. История градостроительного искусства. Поздний феодализм и капитализм. М.: Архитектура-С, 2004. С. 392.
- [13] Вергунов А.П. Архитектурно-ландшафтная организация крупного города. Л.: Стройиздат, 1982. С. 134.
- [14] Дормидонтова В.В. Минимализм в садово-парковом искусстве // Архитектон. Известия вузов, 2012. № 38. URL: [http://archvuz.ru/2012\\_2/17](http://archvuz.ru/2012_2/17) (дата обращения 07.07.2019).
- [15] Дормидонтова В.В. Этапы формирования сада XXI века // Архитектон: известия вузов, 2012. № 37. URL: [http://archvuz.ru/2012\\_1/19](http://archvuz.ru/2012_1/19) (дата обращения 07.07.2019).
- [16] Дормидонтова В.В. Конструктивизм и ландшафтная архитектура конца XIX – начала XX вв // Вестник ландшафтной архитектуры, 2016. Вып. 8. С. 27–34.
- [17] Дормидонтова В.В. Характеристика современного этапа развития садово-паркового искусства // Architecture and Modern Information Technologies: международный электронный научно-образовательный журнал, 2011. № 4 (17). URL: <http://www.marhi.ru/AMIT/2011/4kvart11/dormidontova> (дата обращения 07.07.2019).
- [18] Дормидонтова В.В., Белкин А.Н. Новое или «нехорошо» забытое старое в ландшафтной архитектуре XX и начала XXI века // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2019. Т. 23. № 3. С. 37–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-37-43
- [19] Капков С.А. Развитие городских общественных пространств: социо-философские аспекты // Общество: Философия, история, культура, 2016. Вып. 11. С. 28.
- [20] Глазычев В.Л., Егоров М.М., Ильина Т.В. Городская среда. Москва: Лада, 1995. С. 240.
- [21] Хиллер Б. Стиль XX века. М.: Слово, 2004. С. 128.

## Сведения об авторах

**Дужинская Анастасия Алексеевна** — магистрант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [duzhinskaya-a@mail.ru](mailto:duzhinskaya-a@mail.ru)

**Дормидонтова Виктория Владиславовна** — канд. архитектуры, член Союза архитекторов РФ, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [v.dormidontova@mail.ru](mailto:v.dormidontova@mail.ru)

Поступила в редакцию 01.10.2019.

Принята к публикации 23.12.2019.

## METHODS FOR ACHIEVING SPACE EXPRESSIVITY BY EXAMPLE OF STRELKA ENSEMBLE ON VASILIEVSKY ISLAND

**A.A. Duzhinskaya, V.V. Dormidontova**

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

[v.dormidontova@mail.ru](mailto:v.dormidontova@mail.ru)

The expressiveness of space is an important condition for its relevance. The architectural space of the city includes landscaped spaces. Unfortunately, far from always plant forms take into account architectural forms, although they satisfy the requirements of normative landscaping. However, spatial expressiveness requires the compositional connectedness of all the elements that form space, consciously built architectural and landscape composition. The article is devoted to the study of the harmonious interaction of architecture and plant forms on the example of the Strelka ensemble of Vasilevsky Island. The work included field surveys, photofixation, the study of historical, historical-architectural and local history, literary sources and documents. The history of the formation of the Exchange Square is studied. A comparative compositional analysis of the composition of 1894 (project by architect N.M. Salko) and the composition of 1926 (architect L.A. Ilyin) was performed. The basic methods of the interaction of architectural and natural forms and elements through which Vasilevsky Island Strelka acquired the quality of the ensemble are considered. In the course of analysis, the means of composition were revealed, allowing to achieve the greatest imagery of the place, as well as the compositional role of landscape forms in the organization of open spaces. It was concluded that this ensemble was one of the first landscape manifestations of constructivism, an expression of the dynamics of a new country under construction, and has been maintaining its modernity for almost a hundred years, being an example of the harmonious interaction of architectural and natural forms. It was also concluded that such objects gave a powerful impetus to the development of world landscape architecture of the 20th century, since it was they who began the formation of a complex of compositional techniques of minimalism.

**Keywords:** emotional expressiveness, architectural and landscape techniques, open space, vegetation, composition

**Suggested citation:** Duzhinskaya A.A., Dormidontova V.V. *Sposoby dostizheniya vyrazitel'nosti prostranstva na primere strelki Vasil'evskogo ostrova* [Methods for achieving space expressivity by example of strelka ensemble on Vasilevsky Island]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 20–24. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-20-24

## References

- [1] Saymonds D.O. *Landshaft i arkhitektura* [Landscape and architecture]. Moscow: Kniga po Trebovaniyu, 2013, p. 192.
- [2] Nefedov V.F. *Landshaftnyy dizayn i ustoychivost' sredy* [Landscape design and environmental sustainability]. St. Petersburg: Stroyizdat, 2002, p. 143.
- [3] Stepanov A.V., Mal'gin I.V. *Ob'yemno-prostranstvennaya kompozitsiya* [Volumetric spatial composition]. Moscow: Arkhitektura-S, 2007, p. 256.
- [4] Yan Geyl. *Goroda dlya lyudey* [Cities for people]. Moscow: Kontsern «Krost», 2012, p. 276.
- [5] Jelliko A. *Landshaft cheloveka* [Man landscape]. Moscow: Viktoriya-Druk, 2016, p. 400.
- [6] *Strelka Vasil'yevskogo ostrova* [Vasilyevsky Island Strelka]. Citywalls. Available at: <http://www.citywalls.ru/house27754.html> (accessed 07.07.2019).
- [7] *Birzhevoy skver* [Exchange Square]. Citywalls. Available at: <http://www.citywalls.ru/house27662.html?s=cr9rs7aa7iecenb0droq7fqun0> (accessed 07.07.2019).
- [8] Razumovskiy Y.V., Fursova L.M., Teodoronskiy V.S. *Landshaftnoye proyektirovaniye* [Landscaping]. Moscow: Forum, 2012, p. 144.
- [9] Goncharov M.N. *Gorodskaya ploshchad'. Osnovnyye stilevyye etapy razvitiya i arkhitekturno-landshaftnyye priyemy kak norma ikh esteticheskoy vyrazitel'nosti* [Town Square: The main style stages of development and architectural and landscape techniques as the norm of their aesthetic expressiveness]. Vestnik IrGTU, 2009. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/v/gorodskaya-ploshchad-osnovnyye-stilevyye-etapy-razvitiya-i-arkhitekturno-landshaftnyye-priyomy-kak-norma-ih-esteticheskoy-vyrazitelnosti> (accessed 07.07.2019).
- [10] Gus'kova Ye.V. *Emotsional'nyye aktsenty gorodskikh otkrytykh prostranstv* [Emotional accents of urban open spaces]. Nizhegorodskaya oblastnaya obshchestvennaya organizatsiya landshaftnykh arkhitektorov. Available at: <http://alairn.ru/kg/7/?nid=242&a=entry.show> (accessed 07.07.2019).
- [11] Bogovaya I.O., Fursova L.M. *Landshaftnoye iskusstvo* [Landscape art]. Moscow: Agropromizdat, 1988, p. 223.
- [12] Savarenskaya T.F. *Istoriya gradostroitel'nogo iskusstva. Pozdnyy feodalizm i kapitalizm* [History of urban art. Late feudalism and capitalism]. Arkhitektura-S, 2004, p. 392.
- [13] Vergunov A.P. *Arkhitekturno-landshaftnaya organizatsiya krupnogo goroda* [Architectural and landscape organization of a large city]. Leningrad: Stroyizdat. Leningr.otd-niye, 1982, p. 134.
- [14] Dormidontova V.V. *Minimalizm v sadovo-parkovom iskusstve* [Minimalism in the art of gardening]. Arkhitekton: izvestiya vuzov, 2012, no. 38. Available at: [http://archvuz.ru/2012\\_2/17](http://archvuz.ru/2012_2/17) (accessed 07.07.2019).
- [15] Dormidontova V.V. *Etapy formirovaniya sada XXI veka* [The stages of the formation of the 21st century garden]. Arkhitekton: izvestiya vuzov, 2012, no. 37. Available at: [http://archvuz.ru/2012\\_1/19](http://archvuz.ru/2012_1/19) (accessed 07.07.2019).
- [16] Dormidontova V.V. *Konstruktivizm i landschaftnaya arkhitektura kontsa XIX – nachala XX vv.* [Constructivism and landscape architecture of the late XIX – early XX centuries]. Vestnik landschaftnoy arkhitektury, 2016, v. 8, p. 27–34.
- [17] Dormidontova V.V. *Kharakteristika sovremennogo etapa razvitiya sadovo-parkovogo iskusstva* [Description of the modern stage of development of landscape gardening art]. Architecture and Modern Information Technologies: mezhdunarodnyy elektronnyy nauchno-obrazovatel'nyy zhurnal, 2011, no. 4 (17). Available at: <http://www.marhi.ru/AMIT/2011/4kvart11/dormidontova> (accessed 07.07.2019).
- [18] Dormidontova V.V., Belkin A.N. *Novoe ili nekoroshno zabytoe staroe v landschaftnoy arkhitekture XX i nachala XXI veka* [The new or wrong forgotten original in landscape architecture of XX and the beginning of XXI century]. Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin, 2019, vol. 23, no. 3, pp. 37–43. DOI: 10.18698/2542-1468-2019-3-37-43
- [19] Kapkov S.A. *Razvitiye gorodskikh obschestvennykh prostranstv* [The development of urban public spaces: socio-philosophical aspects]. Society: Philosophy, History, Culture, 2016, v. 11, p. 28.
- [20] Glazychev V.L., Egorov M.M., Il'ina T.V. *Gorodskaya sreda* [City environment. Technology development]. Moscow: Lad'ya, 2012, p. 240.
- [21] Hiller B. *Stil' XX veka* [Style of the XX century]. Moscow: Slovo, 2004, p. 128.

## Authors' information

**Duzhinskaya Anastasiya Alekseevna** — Master graduand of the BMSTU (Mytishchi branch), [duzhinskaya-a@mail.ru](mailto:duzhinskaya-a@mail.ru)

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

Received 01.10.2019.

Accepted for publication 23.12.2019.

## ИЗУЧЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ СОВРЕМЕННОГО БЛАГОУСТРОЙСТВА И ОЗЕЛЕНЕНИЯ ГОРОДА МОСКВЫ ПО ГОСПРОГРАММЕ «МОЯ УЛИЦА» НА ПРИМЕРЕ ТЕРРИТОРИЙ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ТРАНСПОРТНОЙ МАГИСТРАЛИ САДОВОЕ КОЛЬЦО

**П.В. Копылов**

ЗАО «НИИПИ ИГСП», г. Москва, Б. Сухаревский пер., д. 19, стр. 1

poulkopylov@gmail.com

Изучены работы, посвященные современному благоустройству и озеленению Садового кольца г. Москвы. Рассмотрено значение для города Садового кольца, начиная с истории его создания и до настоящего времени. Проанализированы результаты капитального ремонта по государственной программе «Моя улица». Приведено деление дорожной магистрали на сегменты и отдельные элементы благоустройства и озеленения с последующим их сравнением. Проведен анализ положительного опыта строительства и дана оценка возможностей его применения для развития аналогичных городских территорий. Установлены связи и выявлены различия между элементами благоустройства и озеленения Садового кольца. На основе определенных сравнительных критериев представлены результаты современного благоустройства и озеленения. Охарактеризованы временные и стоимостные, количественные и качественные показатели, а также площадные показатели в целом и по отдельным сегментам, наименования элементов благоустройства и озеленения. Прокомментированы материалы специалистов различных сфер, в том числе представителей органов государственной власти, в средствах массовой информации, планы развития программ благоустройства и озеленения для других городских объектов, стандарты, принятые и применяемые при проектировании и строительстве объекта по итогам производства работ в соответствии с государственной программой «Моя улица».

**Ключевые слова:** современное благоустройство, озеленение, инженерия Москвы, Садовое кольцо, программа «Моя улица»

**Ссылка для цитирования:** Копылов П.В. Изучение результатов современного благоустройства и озеленения города Москвы по госпрограмме «Моя улица» на примере территорий, прилегающих к транспортной магистрали Садовое кольцо // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 25–33.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-25-33

Современная кольцевая дорожная сеть Москвы расходуется кругами, начиная с Кремля с Кремлевской набережной — самой древней части города и далее Бульварного, Садового, Третьего транспортного колец и МКАД.

Садовое кольцо (также кольцо Б) — это круговая магистральная улица, расположенная в центре Москвы (рис. 1, 2), которое формируют 18 улиц общей протяженностью 15,6 км и входящие в его состав исторические и современные памятники архитектуры, а также 583 зеленых территорий, в том числе парки, сады, скверы и прилегающие дворы. Помимо основной — транспортной функции магистраль характеризуется жилой, деловой, коммерческой, рекреационной и другими функциями.

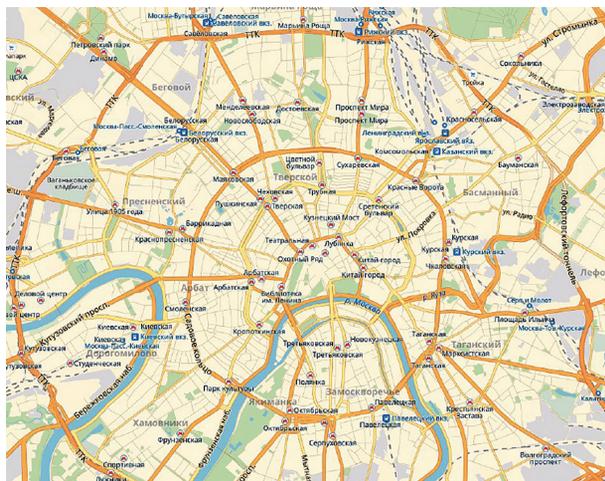
### Цель работы

Цель работы — определение критериев для возможного последующего сравнения и оценки сформировавшейся ситуации до и после проведения строительных работ, выявление позитивных существующих и проектных планировочных решений, типовых элементов благоустройства и озеленения, их дальнейшего применения на других объектах.

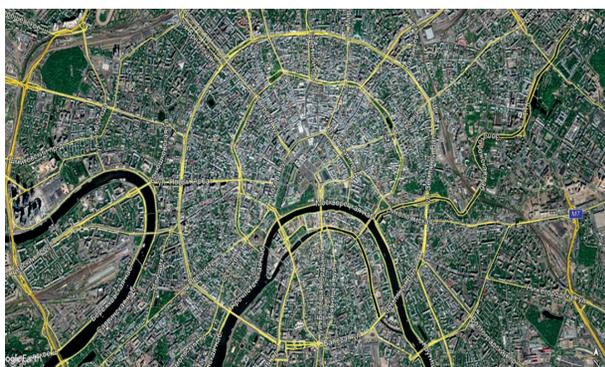
### Краткая историческая справка о Садовом кольце и ее анализ

В 1591–1592 гг. вдоль границ Садового кольца располагался Земляной, или Деревянный, город, однако чаще употреблялось неофициальное название — Скородом [2], представлявший собой земляной вал, построенный для фортификационных целей, поверх которого стояла 5-метровая дубовая стена с башнями и заполненным водой ровом. Внутри границ Скородома располагался город, а за границами — земли, называвшиеся далекими концами и считавшиеся полевыми и выгонными. [3] После утраты своей защитной функции земляной вал местами срывали и превращали в таможенную городскую границу с множеством рынков.

Садовое кольцо обрело свою функцию и вид широкой кольцевой мощенной бульжником улицы после того, как в 1816 г. по проекту Комиссии для строения Москвы вал был снесен, а ров засыпан. Расстояние между фасадами домов, выходящими с двух сторон на Садовое, достигало 60 м, из которых 25 м занимали мостовая и тротуары. На площадях организовывались оживленные рынки (рис. 3), а остальное пространство зани-



**Рис. 1.** Садовое кольцо на карте города  
**Fig. 1.** Garden Ring on a city map



**Рис. 2.** Спутниковый фотоснимок Садового кольца [16]  
**Fig. 2.** Satellite image of the Garden Ring [16]

мали палисадники, высаживаемые домовладельцами. За Земляным городом стали появляться и разрастались существующие слободы: Лужники, Хамовники, Новая Ваганьковская, Миусская, Мещанская и др. [5]

Первый маршрут общественного транспорта (маршрут «Б», в просторечии — «букашка») был проложен в 1870-х гг. для трамваев на конной тяге, которые в последующем сменили трамваи на электрической тяге, а затем в 1930-х гг. троллейбусы [4].

В послевоенное время на Садовом кольце развернулась масштабная реконструкция. В 1950–1960-х гг. были построены три из семи так называемых сталинских высоток, а также Кольцевая линия Московского метрополитена, частично проложенная под Садовым кольцом. Кольцевое движение было полностью организовано благодаря дорожной инфраструктуре (развязкам, тоннелям, эстакадам, мостам и подземным переходам). Благоустройство улиц преимущественно сохраняло свой вид (рис. 4) вплоть до современной реконструкции в 2015–2017 гг.

В наши дни Садовое кольцо представляет собой комплексный многофункциональный дорож-



**Рис. 3.** Вид Садового кольца Москвы с Сухаревской башни, 1914 г. [17]  
**Fig. 3.** View of the Moscow Garden Ring from the Sukharevskaya Tower, 1914 [17]



**Рис. 4.** Вид благоустройства Садового кольца, 1970 г. [18]  
**Fig. 4.** The type of improvement of the Garden Ring, 1970 [18]

ный инфраструктурный объект, который за свою историю претерпевал изменения. В 2015–2017 гг. в соответствии с выполнением подпрограммы «Моя улица» на 2015–2018 годы» (далее программа «Моя улица») объект проектирования стал сложнее по функционалу. Так, например, значение пешеходной функции существенно возросло. Садовое кольцо, оставаясь широкой транспортной магистралью, приобрело характер безопасного и комфортного для пребывания пешеходов пространства. В необустроенные участки добавлены малые архитектурные формы, размещены велодорожки и велопарковки. Часть площадей и парковок были переоборудованы для нужд пешеходов.

### **Анализ основных решений, принятых по благоустройству и озеленению Садового кольца. Программа «Моя улица»**

Проведем исследование современного городского благоустройства и озеленения по подпрограмме «Моя улица» на примере Садового кольца. Поскольку объект комплексный, необходимо

выявить и дать оценку отдельным критериям благоустройства, по которым впоследствии будет проведена исследовательская работа.

Государственная программа капитального ремонта улиц города Москвы «Моя улица» представляет собой крупный проект, стартовавший в 2014 г. и продолжающийся до 2018 г. Целью программы является создание четко спланированной, продуманной и комфортной среды. Программа решает транспортные проблемы с помощью упорядочивания парковок и полос для движения городского транспорта, предусматривает повышение пешеходной доступности.

Такие объекты программы «Моя улица», как улицы и магистрали, были предварительно проанализированы и объединены в группы для последующей реализации по годам. Так в 2015 г. благоустроено 47 улиц, в 2016 г. — 59 и в 2017 г. — 82 улицы. В частности, общая доля Садового кольца (рис. 5) в благоустройстве и озеленении за 2015–2017 гг. составляет 16,8 % [21].

Благоустройство Садового кольца, включавшее в себя проектные и строительные работы, проходило на протяжении 2015–2017 гг. Работы по всему кольцу были разделены на части, кроме того, условно выделены 16 сегментов (таблица) с указанием конкретных так называемых знаковых территорий. В программу «Моя улица» заложены основные принципы благоустройства, направленные на качественные улучшения жизни горожан, дополнительное озеленение улиц, создание безопасной городской среды.

Для реализации программы разработан комплекс работ по расширению тротуаров и замене покрытия на гранитное, прокладке воздушных кабельных линий и других коммуникаций под землей в целях уменьшения загроможденности воздушной среды, по замене опор освещения и созданию новых осветительных объектов, включая архитектурно-художественную подсветку зданий, ограждений, малых архитектурных форм, по мощению дорожек и посадке насаждений, а также замене и созданию новых малых архитектурных форм, включая павильоны остановок, пункты проката и парковки велосипедов, скамьи и урны, навигационные щиты и стелы [9, 14].

### Подход к проектированию. Типология благоустройства Садового кольца

В целях типологии и стандартизации объекта проектирования было предложено следующее разделение его территории: линейные участки, включающие в себя проезжую часть, тротуары, парковки, скверы перед домами; площади, являющиеся знаковыми участками, которые подлежат



**Рис. 5.** Доля Садового кольца в общем бюджете по благоустройству и озеленению в соответствии с программой «Моя улица»

**Fig. 5.** The share of the Garden Ring in the general budget for improvement and landscaping in accordance with the «My Street» program

транспортной и пространственной реорганизации и благоустройству; прилегающие территории, включающие в себя скверы, дворовые территории, пустыри и парковки, непосредственно примыкающие к линейным участкам, также подлежащие реорганизации. Основную часть объемов проектирования составляют линейные участки, которые, в свою очередь, проектируются как транзитные проходные/проездные зоны, служащие для организации беспрепятственного движения. Площади и знаковые территории представляют собой фокусные точки тяготения, организованные вокруг значимых зданий, общественных станций метро и др. Здесь ключевая задача состоит в создании уникальных мест, отличающихся своими признаками, и поэтому данные территории проектировались в индивидуальном порядке. Прилегающие территории представляют собой объекты с промежуточной функцией, имеющие в том числе транзитное, фокусное и рекреационное значения.

Суммарная площадь благоустройства по всем участкам Садового кольца вместе с улицами, входящими в границы проектирования, а также знаковыми территориями и площадями, составляет 77,3 га.

### Комплекс вопросов, касающихся реновации Садового кольца

Для реновации было предусмотрено разделение основных участков Садового кольца на следующие зоны: транспортную, пешеходную зоны и озелененные территории. По каждой зоне отдельно разрабатывались принципы проектирования и строительства в пределах объекта.

Для организации транспортной зоны были предусмотрены принципы:

– на всем протяжении Садового кольца по каждому направлению количество проезжих полос должно составлять четыре — для автомобилей общего пользования и одну — для общественного транспорта;

### Сегменты Садового кольца Garden Ring Segments

Номер сегмента	Линейные территории	Знаковые территории	Длина, м
1	От Смоленской-Сенной пл. до ул. Новый Арбат	Смоленская пл., участок возле МИДа	670
2	От ул. Новый Арбат до ул. Баррикадная	Кудринская пл.	720
3	от ул. Баррикадная до ул. 1-й Ямской-Тверской	–	1390
4	От ул. 1-й Ямской-Тверской до ул. Долгоруковской	–	670
5	От ул. Долгоруковской до Самотечной пл.	Самотечная пл.	1120
6	От Самотечной пл. до пр-та Мира	–	660
7	От пр-та Мира до пл. Красные ворота	Большая Сухаревская пл.	1090
8	От пл. Красные ворота до ул. Покровка	Пл. Красные ворота	780
9	От ул. Покровка до Серебрянической наб.	ТЦ «Атриум», школа № 2095	1540
10	От Николаямской наб. до Таганской пл.	Сквер на Николаямской ул., территория возле Московского театра на Таганке	1210
11	От Космодомианской наб. до ул. Новокузнецкая	–	1460
12	От ул. Новокузнецкая до Серпуховской пл.	–	790
13	От Серпуховской пл. до Октябрьской пл.	Станция метро «Добрынинская», сквер по ул. Житная	740
14	От Октябрьской пл. до Крымской наб.	Станция метро «Октябрьская», входная группа парка «Музеон»	800
15	От Фрунзенской наб. до Зубовской пл.	Станция метро «Парк культуры» (Крымская пл.), входная группа здания ФГУП РАМИ «РИА Новости»	1110
16	От Зубовской пл. до Смоленской пл.	Зубовская пл.	770
Всего			15520

– для въездов/выездов на примыкающие дворовые территории и улицы устраивать дублеры с разделительными полосами с пониженной скоростью движения;

– буферными зонами отделять основной поток движения по Садовому кольцу от дублеров и от пешеходных участков.

Для организации пешеходной зоны предусматривались следующие принципы:

– за счет сокращения ширины проезжей части расширить тротуар, ширина которого должна быть в пределах от 3 до 30 м;

– создать различные типы мощений в соответствии с функциональным и архитектурным назначением тротуаров;

– разместить обновленные малые архитектурные формы и уличную мебель.

Для организации зон озеленения необходимо придерживаться принципов [14]:

– использовать деревья и кустарники для защиты пешеходов, перемещающихся по тротуарам от шума и пыли;

– защиты растительности от реагентов и стоков с проезжей части построить высокий бордюр;

– для защиты насаждений от вытаптывания деревья и кустарники высаживать группами в оформленные и огороженные бордюром клумбы-кадки;

– для создания визуально-эстетических эффектов и акцентов применять зеленые насаждения

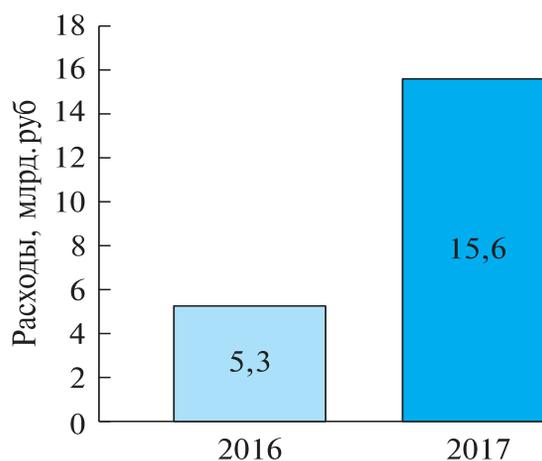


Рис. 6. Благоустройство и озеленение Садового кольца за период 2016–2017 гг.

Fig. 6. Improvement and greening of the Garden Ring for the period of 2016–2017

в соответствии с архитектурно-художественной концепцией для знаковых участков (скверов) и площадей Садового кольца.

Все работы по благоустройству и озеленению Садового кольца реализовывались за счет бюджетных средств. Так, в тендерной документации по благоустройству Садового кольца (рис. 6) общая сумма средств, направленных мэрией на благоустройство и озеленение, составляет 20,9 млрд руб. [13, 15].



а

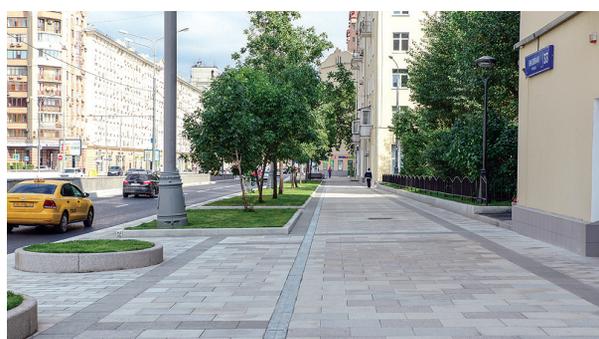


б

**Рис. 7.** Серпуховская площадь до (а) и после (б) благоустройства и озеленения по программе «Моя улица» [19]  
**Fig. 7.** Serpukhovskaya square before (a) and after (b) improvement and gardening under the «My Street program» [19]



а



б

**Рис. 8.** Ул. Валовая до (а) и после (б) благоустройства и озеленения по программе «Моя улица» [19]  
**Fig. 8.** Valovaya st. before (a) and after (b) improvement and gardening under the «My Street program» [19]

Рассмотрим результаты работ, проведенных на Серпуховской площади — знаковой территории Садового кольца (рис. 7) — до и после капитального ремонта по программе «Моя улица». Проектом было предусмотрено изменение плана организации дорожного движения, расширение тротуара и создание дополнительных озелененных участков в виде газонов. Изменения также касались перекладки воздушных и подземных сетей, всех коммуникаций, включая воздушные и расположенные под землей, электрические линии освещения, надземной должна была остаться только линия контактной сети электротранспорта. Замена подлежали опоры освещения и малые архитектурные формы: остановочные павильоны, навигационные стелы, скамьи и урны, старый асфальт и плиточное покрытие. Их заменили на гранитное плиточное покрытие, укладывая гранит различной расцветки по определенной цветовой схеме.

Рассмотрим результаты работ после благоустройства и озеленения ул. Валовой (рис. 8). Из рис. 8 видно изменение планировки в части расширения тротуара за счет сокращения дорожных проезжих полос и мощения тротуара за счет сплошной технической полосы газона. Техни-

ческая зона тротуара отбита дорожным бортом, оформлена гранитным мощением, ближайшие зеленые насаждения также ограничены бортами и размещаются за технической зоной. Деревья и кустарники из новых насаждений размещены в так называемых кадках, выполненных из гранита, издавна произрастающие деревья сохранены и отбиты садовым бортом в отдельную клумбу. Коммуникации проложены под землей, за исключением контактной сети, малые архитектурные формы представлены скамьями, урнами, навигационными стелами и щитами, велопарковками и велопрокатами. При мощении использовались цветные схемы со светлой (месторождение «Возрождение») и темной (месторождение «Габбро») расцветками гранита с привязкой к основным планировочным элементам (зданиям, сооружениям, кадкам озеленения и пр.).

При благоустройстве улиц проводятся археологические работы в частности, при прокладке подземных коммуникаций обнаружены многочисленные археологические находки различных исторических эпох от неолита до времен Ивана Грозного и Екатерины Великой. Специалистам были известны эти места расположения старинных фундаментов и оград, поскольку они были

отмечены в проекте, однако кроме этого были найдены клады и артефакты, расположение которых раньше было неизвестно. Они собраны в музейную коллекцию, места их обнаружения были нанесены на сводную карту археологических находок, представленную Департаментом культурного наследия города Москвы.

## Выводы и результаты

### Выполнение программы «Моя улица» по части Садового кольца. Возможное развитие аналогичных проектов

Благоустройство и озеленение Садового кольца и других улиц в рамках программы «Моя улица» послужило основой для возникновения нового стандарта благоустройства городской среды, который стал учитывать комплексные интересы, в том числе интересы местных жителей, обычных прохожих и пешеходов, водителей общественного и личного транспорта, индивидуальных предпринимателей и других представителей городского пространства. «Благоустройство Садового кольца — самый крупный и сложный проект программы, — указывал Сергей Собянин, — на Садовом кольце переплелись история и современность. Оно является главной транспортной магистралью и самой большой исторической улицей центра Москвы одновременно» [20].

Основными и крупнейшими подрядчиками, по данным РосБизнесКонсалтинга (РБК), на выполнение работ по благоустройству и озеленению по программе «Моя улица», в том числе и Садового кольца, стали компания «Спецстрой», входящая в строительный холдинг Capital Group, и АО «АРПТ», ООО «Стройстандарт» и фирма «Ташир».

В итоге выполнения программы предусмотренной на 2017 г. были благоустроены сотни улиц, скверов и площадей, входящие в их пределы фасады зданий, павильонов метро и переходов. Еженедельник «Аргументы и Факты» (№ 38 20.09.2017) писал: «В 2017 г. мы полностью завершили благоустройство всех трех колец Москвы — Кремлевского, Бульварного и Садового, — говорит руководитель Департамента капитального ремонта Москвы Алексей Елисеев. — Наиболее сложным объектом было Садовое, тем не менее мы выполнили все запланированные работы в срок» [25].

Расширение тротуаров подчинено инвестиционному потенциалу. Как отметил мэр Москвы Сергей Собянин, это не роскошь, а стратегия развития и необходимые задачи для совершенствования городской среды [26]. Существенный дополнительный доход в городской бюджет и дополнительные рабочие места приносит биз-

нес, офисы которого расположены на благоустроенных улицах и вблизи парков, особенно в дни праздников, фестивалей и ярмарок.

Тем не менее современное благоустройство подвергается критике. Так, например, по мнению ведущего эксперта по жилищному праву и ЖКХ В. Федорука, деньги, потраченные на благоустройство улиц, следовало бы направить на более важные цели, такие, как восстановление ветхого аварийного жилья в Москве. Профессор Московского отделения Международной академии архитектуры (МААМ) Максим Перов считает, что комплексное благоустройство необходимо всем районам города, однако проект не просчитали. По его мнению, расширение тротуаров на Садовом кольце, обусловило возникновение транспортных пробок там, где раньше их не было, а по широким тротуарам пешеходы «будут гулять рядом с пробками», т. е., с одной стороны, произошло эстетическое улучшение облика улиц, с другой — ухудшилось транспортное функционирование улиц.

Так, в ноябре 2017 г. на портале «Яндекс» были опубликованы данные о наихудшей транспортной ситуации в центре Москвы — в пределах Садового кольца. Однако Центром организации дорожного движения (ЦОДД) был дан комментарий о том, что исследования «Яндекса», наиболее вероятно, вызваны возросшей привлекательностью столичного центра, в том числе за счет проведения масштабного благоустройства [22].

На 2018 г. было запланировано развитие периферийных районов столицы (примерно 80 новых проектов), находящихся за пределами Садового кольца. В 2018–2020 гг. планируется реализовать 33,3, 30,6 и 30,5 млрд. руб. соответственно. Благоустройство будет распространяться на более отдаленные районы города, в целях создания в них комфортных условий для жизнедеятельности москвичей. В 2017 г. проведено благоустройство парка в Южном Бутове (завершено в 2018 г.), преобразованы парковые зоны в районах Марьино и Братеево, осуществлено развитие Зеленограда (еженедельник «Аргументы и Факты» № 39 27.09.2017) [12]. В планах на перспективное благоустройство вошли такие территории, как Кадаши и Солянка, переулки Маросейки, площадь Киевского вокзала и прилегающие территории, входные группы ВДНХ и Парка культуры и отдыха имени Горького, территории у станции метро «Улица 1905 года» и Еврейского музея и центра толерантности.

«Хороший хозяин в доме всегда наводит порядок со своими детками, младшими, старшими. Мы с вами — хозяева нашей Москвы. Эта наша работа на благо Москвы будет бесконечной», — сказал вице-мэр Москвы по ЖКХ и благоустройству Петр Бирюков о программе «Моя улица» [21].

## Список литературы

- [1] Вострышев М.И. Москва. Большая иллюстрированная энциклопедия: Москвоведение от А до Я. М.: ЭКСМО, 2006. 734.
- [2] Митрофанов А.Г. Прогулки по старой Москве. В 3 кн. Садовое кольцо. Кн. 1. М.: Ключ-С, 2016. 272 с.
- [3] Романюк С.К. По землям московских сел и слобод. Ч. 1. Между Садовым кольцом и Камер-коллежским валом. М.: Сварог и К, 2001. 625 с.
- [4] Бирюкова Т.З. Москва. От конки до метро. Очерки истории городского транспорта в XIX — начале XX вв. М.: ОСТ ПАК новые технологии, 2016. 279 с.
- [5] Бирюкова Т.З. Устои и быт в прежней Москве. Очерки. М.: ОСТ ПАК новые технологии, 2016. 342 с.
- [6] Дормидонтова В.В. Минимализм в садово-парковом искусстве // Архитектон: Известия вузов, 2012. № 38. URL: [http://archvuz.ru/2012\\_2/17](http://archvuz.ru/2012_2/17) (дата обращения 23.03.2019).
- [7] Дорфман А. Архитекторы «Моей улицы»: Кто вернул сады на Садовое кольцо? // Strelka Magazine. URL: <https://strelkamag.com/ru/article/gardenring> (дата обращения 23.03.2019).
- [8] Как это работает: Новый стандарт благоустройства: интервью с руководителем проекта разработки Стандарта благоустройства для Москвы // Strelka Magazine. URL: <https://strelkamag.com/ru/article/new-standart> (дата обращения 12.04.2019).
- [9] Сводный стандарт благоустройства улиц Москвы. Приложение 1 к распоряжению Правительства Москвы «Об утверждении сводного стандарта благоустройства улиц Москвы» от 04.08.2016 г. № 387-ПП. URL: [www.mos.ru](http://www.mos.ru) (дата обращения 12.04.2019)
- [10] Садовое кольцо. URL: [http://moscow.org/moscow\\_encyclopedia/311\\_garden\\_ring.htm](http://moscow.org/moscow_encyclopedia/311_garden_ring.htm) (дата обращения 12.02.2019).
- [11] Улицы и площади Садового кольца. Путеводитель по Москве. URL: <http://www.intomoscow.ru/ulicy-i-ploschadi-sadovogo-kolca.html> (дата обращения 23.12.2018).
- [12] Беляева М. Островок старой брусчатки. Работы по программе «Моя улица» почти завершены // Аргументы и Факты, № 39, 27.09.2017. URL: [http://www.aif.ru/realty/city/ostrovok\\_staroy\\_bruschatki\\_raboty\\_po\\_programme\\_moya\\_ulica\\_pochti\\_zaversheny](http://www.aif.ru/realty/city/ostrovok_staroy_bruschatki_raboty_po_programme_moya_ulica_pochti_zaversheny) (дата обращения 15.04.2019).
- [13] Чья «Моя улица». URL: <http://www.rbc.ru/society/20/10/2015/56bc92e99a7947299f72b9f9> (дата обращения 20.03.2019).
- [14] Садовое кольцо. Знаковые изменения. URL: <https://www.mos.ru/city/projects/mystreet/page151290/> (дата обращения 10.03.2019).
- [15] На благоустройство Садового и Бульварного колец потратят 25,5 млрд руб. URL: <https://www.rbc.ru/politics/30/03/2017/58dbc7919a794700335ae07a> (дата обращения 30.03.2019).
- [16] Карта Садового кольца. URL: <https://www.google.ru/maps/place/Садовое+кольцо> (дата обращения 30.03.2019)
- [17] Фото вида Садового кольца Москвы с Сухаревской башни, 1914 г. // LiveJournal «Моя Москва». URL: <https://moya-moskva.livejournal.com/4738498.html> (дата обращения 13.12.2018).
- [18] Артур Рорадос Шигапов. Фоторепортаж «Большевики разрушили Садовое кольцо — мы восстановили». URL: [https://www.ridus.ru/news/262365?show\\_full=true](https://www.ridus.ru/news/262365?show_full=true) (дата обращения 20.10.2018).
- [19] Кольца и парки 2017-го: это не мода, это благоустройство. URL: <https://www.mos.ru/news/item/34026073/> (дата обращения 16.12.2018).
- [20] Михайлова А. Садовое кольцо полностью обновили к юбилею // Комсомольская правда. URL: <https://www.msk.kp.ru/daily/26728/3755055/?top=5> (дата обращения 08.09.2018).
- [21] Сарджвеладзе С. Москва продлила программу «Моя улица» до 2020 года // РБК. URL: <https://www.rbc.ru/politics/12/10/2017/59df5a9a7947c02230630b> (дата обращения 12.10.2018).
- [22] Мэр Москвы увидел положительную оценку благоустройству улиц в том, что на них стало больше людей. URL: <https://msk.newsru.com/article/29Jan2018/morepeople.html> (дата обращения 29.01.2019).
- [23] Топ-20 археологических находок на «Моей улице». URL: <https://www.mos.ru/news/item/12155073/> (дата обращения 23.03.2019).
- [24] Baumeister N. New Landscape architecture. Berlin: Braun, 2007, 352 p. URL: <https://ru.scribd.com/document/103236051/The-New-Landscape-Architecture-N-Baumeister> (дата обращения 25.02.2019).
- [25] Воронова Е. Из прошлого в будущее. Что и где обновили в Москве по программе «Моя улица» // Аргументы и Факты, № 38, 20.09.2017. URL: [https://aif.ru/realty/city/moya\\_ulica\\_gde\\_i\\_chno\\_v\\_rossiyskoy\\_stolice\\_obnovili](https://aif.ru/realty/city/moya_ulica_gde_i_chno_v_rossiyskoy_stolice_obnovili) (дата обращения 01.09.2019).
- [26] Сергей Собянин: Успешные города и активные горожане — главное преимущество России. URL: <https://www.mos.ru/mayor/themes/16299/4127050/> (дата обращения 01.09.2019).

## Сведения об авторе

**Копылов Павел Владимирович** — гл. инженер Научно-исследовательского и проектно-исследовательского института градостроительного и системного проектирования (ЗАО «НИИПИ ИГСП»), [poulkopylov@gmail.com](mailto:poulkopylov@gmail.com)

Поступила в редакцию 02.10.2019.  
Принята к публикации 12.01.2020.

# RESULTS OF MOSCOW GOVERNMENTAL PROGRAM "MY STREET" FOR CURRENT GREENING AND GENERAL IMPROVEMENT IN CASE STUDY OF IMPROVEMENT TERRITORIES ALONG GARDEN RING ROAD

P.V. Kopylov

Scientific Research and Design Institute of Urban and Systemic Design, 19, buil. 1, B. Sukharevsky per., Moscow, Russia

poulkopylov@gmail.com

The purpose of this article is to study current work of greening and general improvement of Moscow Garden Ring. To research the value of the Garden Ring, we start from the history of its creation till the present moment, and consider the results of the state program «My street». The division of a whole highway into segments with separation of elements and subsequent comparison is given. Also we analyze gained positive construction experience for further better development on similar urban areas. The main goal is to define criteria, and further compare sites before and after construction. Identification of positive existing and project planning decisions, typical elements of greening and improvement helps to better apply them on other urban objects. According to the results, the methods of research, and analysis helps us to clearly establish links and identify differences between the elements of the Garden Ring greening, landscaping and general improvement. In conclusion there are opinions from mass media specialists and representatives of state authorities, as well as quantitative and qualitative indicators of the project, time and cost, plans programs for urban development. Also areas of the Garden Ring in general and in its individual segments with element of greening and improvement are considered, as well as the standards adopted on the basis of results of «My Street» program and used in the design and city objects construction.

**Keywords:** Moscow current greening, general improvement, and engineering, Garden Ring, My Street

**Suggested citation:** Kopylov P.V. *Izuchenie rezul'tatov sovremennogo blagoustroystva i ozeleneniya goroda Moskvy po gosprogramme «Moya ulitsa» na primere territoriy, prilgayushchikh k transportnoy magistrali Sadovoe kol'tso* [Results of Moscow governmental program "My Street" for current greening and general improvement in case study of improvement territories along Garden Ring road]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 25–33. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-25-33

## References

- [1] Vostryshev M.I. *Moskva. Bol'shaya illyustrirovannaya entsiklopediya: Moskvovedenie ot A do Ya* [Moscow. Big Illustrated Encyclopedia: Study Moscow City from A to Z]. Moscow: EKSMO, 2007, 762 p.
- [2] Mitrofanov A.G. *Progulki po staroy Moskve. Sadovoe kol'tso. Kn. 1.* [Walking along the old Moscow. Garden Ring Road. Book 1]. Moscow: Klyuch-S, 2016, 272 p.
- [3] Romanyuk S.K. *Po zemlyam moskovskikh sel i slobod. Ch. 1. Mezhdru Sadovym kol'tsom i Kamer-kollezhskim valom.* [In the lands of Moscow villages and settlements. Between the Garden Ring and the Kamer-kollezhsky roll]. Moscow: Svarog i K, 2001. 625 p.
- [4] Biryukova T.Z. *Moskva. Ot konki do metro. Ocherki istorii gorodskogo transporta v XIX – nachale XX vv.* [Moscow. From horse power cabin to the subway. Urban transport essays from 19<sup>th</sup> to start 20<sup>th</sup> cc.]. Moscow: OST PAK new technology, 2016, 279 p.
- [5] Biryukova T.Z. *Ustoi i byt v prezhney Moskve. Ocherki.* [Foundations and life in the former Moscow. Essays]. Moscow: OST PAK new technology, 2016, 342 p.
- [6] Dormidontova V.V. *Minimalizm v sadovo-parkovom iskusstve* [Minimalism in landscape art]. *Arkhitekton: Izvestiya vuzov*, 2012, no. 38, Available at: [http://archvuz.ru/2012\\_2/17](http://archvuz.ru/2012_2/17) (accessed 23.03.2019).
- [7] Dorfman A. *Arkhitektory «Moey ulitsy»: Kto vernul sady na Sadovoe kol'tso* [«My Street» architects: Who returned gardens on the Garden Ring?]. Available at: <https://strelkamag.com/ru/article/gardenring> (accessed 23.03.2019).
- [8] *Kak eto rabotaet: Novyy standart blagoustroystva: interv'yu s rukovoditelem proekta razrabotki Standarta blagoustroystva dlya Moskvy* [How it works: New standard of general improvement: interview with the project manager of Standard for general improvement for Moscow]. *Strelka Magazine*. Available at: <https://strelkamag.com/ru/article/new-standart> (accessed 12.04.2019).
- [9] *Svodnyy standart blagoustroystva ulits Moskvy. Prilozhenie 1 k rasporyazheniyu Pravitel'stva Moskvy «Ob utverzhdenii svodnogo standarta blagoustroystva ulits Moskvy» ot 04.08.2016. № 387-RP* [Consolidated standard for general improvement of Moscow streets. Annex to the order of the government of Moscow «Approval of the consolidated standard of improvement of Moscow streets» from 04.08.2016 № 387]. Available at: [www.mos.ru](http://www.mos.ru) (accessed 12.04.2019).
- [10] *Sadovoe kol'tso* [Garden Ring]. Available at: [http://moscow.org/moscow\\_encyclopedia/311\\_garden\\_ring.htm](http://moscow.org/moscow_encyclopedia/311_garden_ring.htm) (accessed 12.02.2019).
- [11] *Ulitsy i ploshchadi Sadovogo kol'tsa* [Streets and squares of the Garden Ring]. Available at: <http://www.intomoscow.ru/ulicy-i-ploshchadi-sadovogo-kolca.html> (accessed 23.12.2018).
- [12] Belyaeva M. *Ostrovok staroy bruschatki. Raboty po programme «Moya ulitsa» pochti zaversheny* [An island of old pavers. Work on the program "My Street" is almost completed] *Argumenty i Fakty*, no. 39. Available at: [http://www.aif.ru/realty/city/ostrovok\\_staroy\\_bruschatki\\_raboty\\_po\\_programme\\_moya\\_ulica\\_pochti\\_zaversheny](http://www.aif.ru/realty/city/ostrovok_staroy_bruschatki_raboty_po_programme_moya_ulica_pochti_zaversheny) (accessed 15.04.2019).
- [13] *Ch'ya «Moya ulitsa»* [Whose «My Street» is]. Available at: <http://www.rbc.ru/society/20/10/2015/56bc92e99a7947299f72b9f9> (accessed 20.03.2019).
- [14] *Sadovoe kol'tso. Znakovye izmeneniya* [Garden Ring. Main changes]. Available at: <https://www.mos.ru/city/projects/mystreet/page151290/> (accessed 10.03.2019).

- [15] *Na blagoustroystvo Sadovogo i Bul'varnogo kolets potratyat 25,5 mlrd rub* [It will spend 25,5 billion rub. on the improvement of the Garden and the Boulevard Rings]. Available at: <https://www.rbc.ru/politics/30/03/2017/58dbc7919a794700335ae07a> (accessed 30.03.2019).
- [16] Garden Ring map, Moscow earth.google.com Available at: (accessed 30.03.2019).
- [17] Photo of the view of the Garden Ring from the Sukharevskaya tower, 1914. LiveJournal «Moya Moskva» [«My Moscow»]. Available at: <https://moya-moskva.livejournal.com/4738498.html> (accessed 13.12.2018).
- [18] Artur Popados Shigapov. Photo essay «*Bol'sheviki razrushili Sadovoe kol'tso — my vosstanovili*» [«The Bolsheviks destroyed the Garden Ring – we restored»]. Available at: [https://www.ridus.ru/news/262365?show\\_full=true](https://www.ridus.ru/news/262365?show_full=true) (accessed 20.10.2018).
- [19] *Kol'tsa i parki 2017-go: eto ne moda, eto blagoustroystvo* [Rings and parks of 2017<sup>th</sup>: this is not fashion, this is general improvement]. Available at: <https://www.mos.ru/news/item/34026073/> (accessed 16.12.2018).
- [20] Mikhaylova A. *Sadovoe kol'tso polnost'yu obnovili k yubileyu* [Garden Ring was completely updated for the anniversary]. Available at: <https://www.msk.kp.ru/daily/26728/3755055/?top=5> (accessed 08.09.2018).
- [21] Sardzhveladze S. *Moskva prodlila programmu «Moya ulitsa» do 2020 goda* [Moscow extended the «My street» program until 2020]. Available at: <https://www.rbc.ru/politics/12/10/2017/59df5a9a7947c02230630b> (accessed 12.10.2018).
- [22] *Mer Moskvy uvidel polozhitel'nyu otsenku blagoustroystvu ulits v tom, chto na nikh stalo bol'she lyudey* [The Mayor of Moscow saw a positive trend of the improvement of the streets, because there were more people on them]. Available at: <https://msk.newsru.com/article/29Jan2018/morepeople.html> (accessed 29.01.2019).
- [23] *Top-20 arkheologicheskikh nakhodok na «Moey ulitse»* [Top 20 archaeological finds in «My Street»]. Available at: <https://www.mos.ru/news/item/12155073/> (accessed 23.03.2019).
- [24] Baumeister N. *New Landscape architecture*. Berlin: Braun, 2007, 352 p. Available at: <https://ru.scribd.com/document/103236051/The-New-Landscape-Architecture-N-Baumeister> (accessed 25.02.2019).
- [25] *Voronova E. Iz proshlogo v budushchee. Chto i gde obnovili v Moskve po programme «Moya ulitsa»* [From the past to the future. What and where was updated in Moscow under the My Street program] Arguments and Facts [Argumenty i Fakty], № 38, 20.09.2017. Available at: [https://aif.ru/realty/city/moya\\_ulica\\_gde\\_i\\_chno\\_v\\_rossiyskoy\\_stolice\\_obnovili](https://aif.ru/realty/city/moya_ulica_gde_i_chno_v_rossiyskoy_stolice_obnovili) (accessed 01.09.2019).
- [26] *Sergey Sobyenin: Uspeshnye goroda i aktivnye gorozhane — glavnoe preimushchestvo Rossii* [Successful cities and active citizens are the main advantage of Russia]. Available at: <https://www.mos.ru/mayor/themes/16299/4127050/> (accessed 01.09.2019).

## Author's information

**Копылов Павел Владимирович** — Chef engineer at Scientific Research and Design Institute of Urban and Systemic Design, [poukopylov@gmail.com](mailto:poukopylov@gmail.com)

Received 02.10.2019.

Accepted for publication 12.01.2020.

## ИСТОРИЧЕСКИЕ ЛАНДШАФТЫ СОВРЕМЕННОГО «АРТЕКА»: ОСОБЕННОСТИ ПАРКА «ЛАЗУРНЫЙ»

Л.А. Леонов

ФГБУ «Международный детский центр «Артек», 298645, Республика Крым, г. Ялта, пгт Гурзуф, ул. Ленинградская, д. 82  
1006710@mail.ru

Приведена краткая историко-архивная экспертиза курорта Суук-Су, на территории которого в настоящее время располагается парк «Лазурный». Представлены результаты инвентаризации только по старовозрастным деревьям, их анализ и последовательность выявления исторических посадок.

**Ключевые слова:** курорт Суук-Су, Лазурный, Артек, старовозрастные деревья, исторические посадки, парковые композиции

**Ссылка для цитирования:** Леонов Л.А. Исторические ландшафты современного «Артека»: особенности парка «Лазурный» // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 34–40.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-34-40

После присоединения Крыма в 2014 г., актуальной проблемой стало сохранение исторического облика Международного детского центра. В связи с тем, что документация по историческим ландшафтам и древесным насаждениям «Артека» отсутствовала, возник вопрос об инвентаризации усадебных парков детского центра. Начались исследования. В частности, по парку «Лазурный» работы проводились в 2018–2019 гг., которые включили в себя историко-архитектурную экспертизу и инвентаризацию имеющихся деревьев и кустарников.

Несмотря на большой исторический материал по развитию Гурзуфа начиная с второй половины XIX в. и до революции 1917 г., информации по истории, планировке, посадкам и ассортименту усадебных парков крайне мало, к тому же она разрознена и скудна.

### Цель работы

Цель работы — на основании полученных материалов историко-архивной экспертизы и изучения результатов инвентаризации древесных насаждений парка «Лазурный» выявление исторического ассортимента и старовозрастных деревьев послуживших базой для проведения дальнейшего поиска исторических парковых посадок.

### Методика исследования

Исследование парковой территории проходило в четыре этапа:

1) историко-архивная экспертиза литературных источников;

2) инвентаризация существующих древесных насаждений, выявление исторического ассортимента и сохранившихся старовозрастных деревьев (за старовозрастные деревья принимались экземпляры с диаметром ствола более 40 см, возрастом более 100 лет);

3) поиск исторических посадок, которые легли в основу оценки сохранных парковых композиций на основании архивных фотографий и сохранившихся старовозрастных деревьев;

4) проведение ландшафтного анализа современной территории парка «Лазурный» и выявление наиболее важных исторических видовых точек, требующих раскрытия.

Рассмотрим результаты первых двух этапов проведенного нами исследования.

Организация паркового пространства зависит не только от архитектурного окружения, но и от наличия эстетических достоинств объекта, которые могут выражаться в окружающей застройке или прилегающих ландшафтах с природными доминантами [1]. Экологические свойства объекта включают в себя три пространственные категории: пространство (собственно территория), которая, в свою очередь, состоит из двух составляющих — плоскости (земной поверхности на различных формах рельефа) и объема (насаждений, сооружений, объемно выраженного рельефа) [2]. Поэтому история развития земель любого ландшафтного объекта, его архитектурного ядра и природного окружающего пространства входит в исследование историко-архивной экспертизы.

**Историко-архивная экспертиза курорта Суук-Су.** В начале XX в. в Гурзуфе развивался известный Губонинский курорт. Вторым модным курортом стал Суук-Су. Свое название он получил от урочища, в котором протекала р. Суук-Су (в переводе с крым.-татар. — Холодная Вода) [3]. На этой территории в настоящее время располагается парк «Лазурный» Международного детского центра «Артек».

Земли имения Суук-Су вначале принадлежали графу М.С. Воронцову, затем отставному полковнику Российской армии крымскому татарину А. Абдурахманчику, от него имение перешло

к отставному поручику Российской армии отпрыску рода крымских ханов Султан-Крым-Гирею. В 1874 г. имение приобрела княгиня Е.А. Голицына [4], а в 1887 г. супружеская пара — инженер-путеец, действительный статский советник В.И. Березин и О.М. Соловьева в целях создания доходного курорта.



Рис. 1. Курорт Суук-Су  
Fig. 1. Resort Suuk-Su

Проект и строительство курорта поручили известному ялтинскому архитектору Н.П. Краснову, что принесло архитектору первый успех. Курорт Суук-Су стал Русской Ривьерой. В 1913 г. на Всероссийской гигиенической выставке он получил большую золотую медаль, а в Одессе на аналогичной выставке — серебряную медаль [5].

На участке площадью 29,7 га были построены шесть гостиниц на 180 номеров, которые удачно вписались в окружающий ландшафт, причем во все помещения провели превосходную по качеству питьевую воду. На курорте соорудили канализационную систему с отводом очищенных канализационных вод по глубоководному сбросу в море.

У главного въезда на территорию курорта построили изящное небольшое здание курортной комендатуры. На возвышающемся над местностью холме был сооружен фамильный склеп Березиных. Его оригинальная архитектура вписалась в скалистый холм. Береговую полосу превратили в благоустроенный мелкогалечный пляж. Вся территория урочища, ранее представлявшая собой сплошные виноградные плантации, была преобразована в парк, с декоративными вечнозелеными деревьями и кустарниками. Со временем парк Суук-Су стал достопримечательностью Южного берега Крыма [6]. На старинном фото видно, как выглядел курорт в 1903 г. (рис. 1).

Хозяйка курорта Ольга Михайловна увлеклась рулеткой и намеревалась преобразовать Суук-Су в российское Монте-Карло, поэтому центральным зданием в местности стал великолепный дворец «Казино» [7]. Здание выглядело эффектно и органично вписывалось в окружаю-

щий его парковый ландшафт. Территория вокруг дворца имела ограждение в виде балюстрады, а напротив главного входа во дворец был установлен фонтан из белого мрамора в виде многоярусной вазы. Подпорные стены возводились из подогнанных блоков известняка старательно и надежно. С южной стороны от дворца в парк и дальше к пляжу соорудили ансамбль лестниц также из известняка.

Лестничные марши и площадки оградили коваными узорчатыми решетками высокохудожественной работы. Справа и слева от средней лестничной площадки на постаментах установили два бронзовых сфинкса, а на самой нижней площадке, в специальной нише разместили беломраморную фигуру древнегреческой нимфы рек и ручьев — Наяды. Из кувшина в ее руках в чашу лилась струя воды. Эта лестница, спроектированная Н.П. Красновым, сама по себе стала произведением искусства. Ступени были изготовлены из тесаного известняка, перила — из чугуна, выполненного на уральских заводах, в нише одного из пролетов лестницы стояла скульптура Наяды, которую впоследствии похитили немцы при отступлении [8].

С южной стороны к дворцу примыкал искусственный сталактитовый грот с огромным аквариумом, а над гротом возвышалась музыкальная эстрада вычурной архитектуры. На южной площадке у дворца в хорошую погоду устанавливались ресторанные столики под теневыми зонтиками, на эстраде играл оркестр [6].

С 1900 по 1903 г. Н.П. Краснов работал над территорией Суук-Су. Большую ее часть он превратил в цветущий парк, органично включив в него уникальные достопримечательности — скалу с башней Султан-Крым-Гирея, Пушкинскую скалу с гротами, вид на скалистые островки Адалары, расположенные в море недалеко от берега.

Учитывая характер местности и назначение парка, Краснов спроектировал параллельно берегу моря широкую аллею, обсаженную деревьями редких пород, остальную территорию разделил продольными и поперечными дорожками общей протяженностью около пяти верст (≈5334 м). Парк террасами спускался к большому прекрасно обустроенному пляжу [9].

В путеводителе К.Ю. Бумбера о Суук-Су написано: «Имение Суук-Су занимает пространство в 27 десятин и защищено от северо-восточных ветров хребтом Яйлы и Аю-Дагом. Курорт расположен на берегу моря по склону горы. В центре курорта — казино с роскошным рестораном, большими залами, читальней, балконами. От казино до берега моря террасами идет молодой хорошо содержимый парк. Дорожки полого спускаются к берегу моря. На берегу — хороший пляж» [10].

После революции 1917 г. имение Суук-Су было национализировано. В условиях анархии, нескончаемой смены власти в Крыму его управляющему О.И. Домбровскому в основном удалось сохранить от разграбления курортное имущество и от разрушения все его здания и сооружения. По окончании гражданской войны курорт был национализирован, и с 1924 г. это был Дом отдыха ВЦИК СССР.

Здания и сооружения курорта, его прекрасный парк, пляж и хозяйственные службы поддерживались в надлежащем порядке. В отличном состоянии содержался и дворец Суук-Су со всем его прежним содержимым. Сохранился книжный фонд библиотеки и в 1920–1930-е гг. он продолжал регулярно пополняться [11].

В 1930-м г. курорт Суук-Су перешел в ведение центра детского отдыха «Артек». Современный детский лагерь «Лазурный» полностью располагается в зданиях бывшего курорта Суук-Су. Он занимает четыре старинные двухэтажные дачи, построенные в начале XX в.: Красную, Желтую, Зеленую и Синюю, которые служили гостиницами в знаменитом курорте, [12] (см. рис. 1).

Сегодня территория детского лагеря «Лазурный» является историческим памятником, который участвует в образовательной программе «Артека», а также частью культурного ландшафта Крыма и привлекает туристов. Поэтому в ходе реконструкции «Артека» было уделено особое внимание бережному сохранению исторического наследия и облика дворца Суук-Су [13].

**Историко-архивная экспертиза парка «Лазурный».** О планировке парка существует две версии: 1) парк был заложен в начале 1890-х гг. самим В.И. Березиным совместно с опытным садовником Э.Ю. Липом, который принимал участие в формировании имений генерала М.Н. Равевского в Партените и Карасане; 2) планировка парка сделана архитектором Н.П. Красновым.

Общая площадь парка 45 га [14].

Об имении Суук-Су и его архитектурным сооружениям сохранилось достаточно много разнообразной информации, но, тем не менее, описание парка приходилось отыскивать и собирать по крупицам из различных литературных источников. В частности, в работе [15] указано: «Приближаясь к Суук-Су (холодная вода), имению Соловьевой, обращаешь внимание на громадные роскошные кипарисы. В имении небольшой, но превосходный декоративный сад».

И далее в работах [16, 17] соответственно: «Помимо старой растительности в имении разбит молодой парк, красивые газоны и проч., но особенно красив приморский бульвар вблизи моря — это широкая аллея, вся уставленная удобными оригинальными скамьями с неболь-

шими навесами-зонтиками». «От казино до берега моря террасами идет молодой, хорошо содержимый парк. Дорожки полого спускаются к берегу моря».

Парк был спланирован в ландшафтном стиле с учетом живописного рельефа и содержал элементы регулярного стиля: его восточная часть была террасирована. Западная часть парка имеет скалистые возвышенности, которые вплотную подходят морю в виде высокого, скалистого и обрывистого берегов.

В планировке парка рационально использован рельеф, но композиции древесных насаждений были недостаточно выразительны: за небольшим исключением, отсутствовали четко выраженные однородные группы из хвойных и лиственных растений, придающих отдельным участкам парка определенное архитектурное лицо. Часто встречался характерный для Крыма прием — посадка кипарисов вплотную к зданиям. В парке часто использовалась топиарная стрижка деревьев и кустарников (формованные лавры и др.). Ассортимент насаждений парка достаточно богат и включал в себя 320 разных сортов деревьев, также в парке встречались достаточно большие массивы естественных насаждений (пушистый дуб, ясень и др.) [18].

В планировке парка используется много лестниц, что характерно для горных ландшафтов. Например, от здания «Казино» к морю идет изогнутая неширокая парковая дорожка с лестницами, заканчивающаяся небольшой видовой площадкой. Спуск устроен в виде четырех террас. На площадке первой террасы расположено здание «Казино», ее украшала балюстрада с вазами. По оси главного входа здания с первой террасы на вторую ведет лестница, а промежуточная площадка имеет два хода, подводящих ко второй террасе. Очень парадно оформлен спуск на третью террасу, на нем располагалось несколько скульптурных украшений.

«Здесь выступ был оформлен в виде площадки, с которой двумя маршами шел спуск на дорожку к морю. На специальных постаментах располагались два изысканных бронзовых сфинкса. В стене, служащей подпорной стенкой выступа площадки террасы, был устроен стенной фонтан, оформленный скульптурой женщины (в натуральную величину), опрокидывающей кувшин (рис. 2). Он был очень хорошо выполнен и весьма эффектно смотрелся при солнечном освещении. Далее шла лестница на парковую дорожку, спускающуюся к морю» [18].

Сама лестница чрезвычайно интересна и красива. Это — настоящее произведение архитектурного искусства. Если от нее спускаться вниз к морю по аллее, идущей вдоль пляжа, то можно

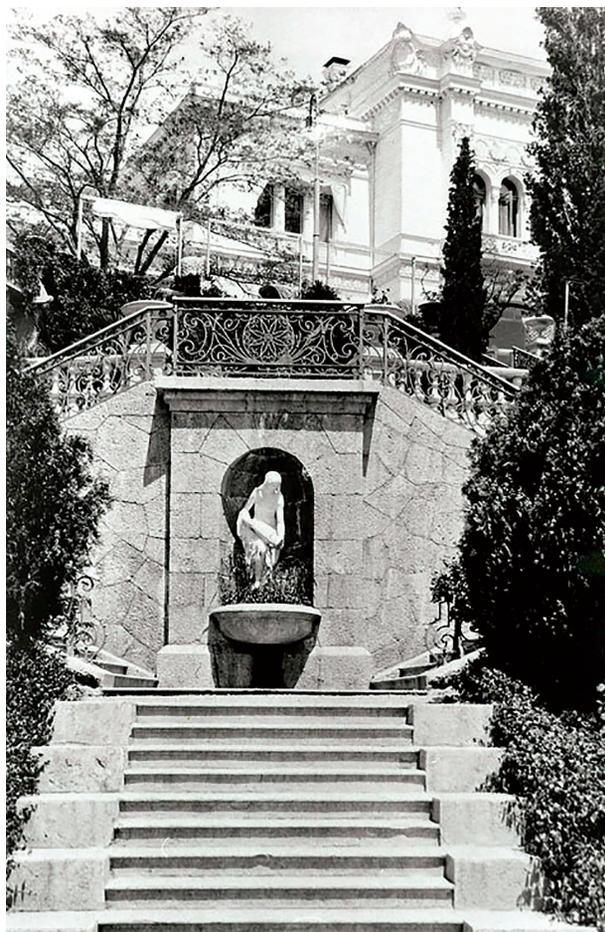


Рис. 2. Беломраморная фигура древнегреческой нимфы рек и ручьев Наяды

Fig. 2. White-marble figure of ancient Greek nymph of the waters Naiada

увидеть главную достопримечательность — мостик через р. Суук-Су. Его кованые перила — шедевр кузнечного искусства. У мостика, со стороны пляжа, сохранилась высокая каменная колонна, на ней когда-то стояла бронзовая статуя крылатой богини Ники [3].

Интересный архитектурный замысел позволял оригинально осуществить организацию основной композиционной оси парка: от казино к морю. Парковые насаждения на территории курорта естественно вписывались в природные ландшафты. Именно поэтому В.И. Березин возвел декоративную Генуэзскую башню, которая предназначалась для осмотра великолепной морской и горной панорамы [19].

Особое внимание в парке занимает длинная лестница, идущая от приемного корпуса «Лазурного», — итальянская. В свое время ее построили в итальянском стиле. Правда, от былой роскоши сегодня сохранились только каменные завитушки, а вот огромные бетонные вазы, украшавшие ее по бокам, обветшали и были сняты в 2005 г. [3].

Налево от итальянской лестницы сохранилась историческая теплица с оранжерейным хозяйством и лесной холм. Лесная дорога ведет к часовне-усыпальнице основателя курорта Суук-Су Владимира Березина. Это одно из самых красивых сооружений «Артека», а с вершины холма открываются потрясающие виды, в частности, вглубь территории ведет дорога, по которой можно попасть к главному въезду в «Лазурный». Въезд оформлен очень красивыми старинными коваными воротами. Их завершает выполненный в стиле модерн домик привратника, украшенный вычурными колоннами, ангелочками, подсолнухами и другой лепниной, а некоторая запущенность здания и облезлость стен придает ему своеобразный шарм [3].

## Результаты и обсуждение

Во время проведения историко-архивной экспертизы был найден сохранившийся баланс имения О.М. Соловьевой, который показывает функциональное использование территории курорта в начале XX в. (таблица). Из таблицы видно, что под парком находилась практически одна треть всего имения, а если учесть дороги, постройки, поляны, пляж и русло реки, то получится 63,4 % всей территории, что свидетельствует о мировом уровне благоустройства курорта Суук-Су и соответствии сегодня его нормативов современным.

План имения Суук-Су Ялтинского уезда Таврической губернии, владения Ольги Михайловны Соловьевой, по данным 1918 г. включал в себя 18 десятин 1290 квадратных саженей, т. е. 20,3 га. В настоящее время площадь парка «Лазурный» составляет 22 га.

**Анализ инвентаризации деревьев парка «Лазурный».** После проведения инвентаризации всех существующих древесных насаждений, произрастающих на территории парка, нами выделены старовозрастные деревья. В дальнейшем они стали опорными деревьями при поиске исторических посадок, приемов и ландшафтов. Оказалось, что в парке «Лазурный» старовозрастных деревьев произрастает 731 шт. 34 видов. Три рода занимают 85,2 % территории: кипарис — 38,9 %, кедр — 25,5 %, сосна — 20,8 %. На остальные 31 вид приходится всего 14,8 % территории, т. е. они встречаются в единичных экземплярах и не имеют важного значения в формировании художественного образа парка.

Род *кипарис* представлен четырьмя видами в количестве 284 шт. — это *кипарис вечнозеленый* — 96,8 %. Три вида встречаются в единичных экземплярах: *кипарис гималайский* — 6 шт., *кипарис арizonский* — 2 шт. и *кипарис лузитанский* — 1 шт.

**Исторический баланс территории  
имения Суук-Су**  
**Historical balance of Suuk-Su estate territory**

Наименование удобья	Площадь	
	м <sup>2</sup>	%
Постройки	5384,10	2,7
Парк	66818,34	32,9
Виноградник	8510,05	4,2
Фруктовый сад	8062,16	4,0
Кустарники	34566,24	17,0
Поляны	19298,08	9,5
Каменистые участки	23199,68	11,4
Дороги	28331,84	13,9
Пляж	7838,21	3,9
Русло реки	1399,68	0,5
Всего	203408,38	100,0

*Род кедр* представлен тремя видами в количестве 187 шт.: *кедр ливанский* — 51,3 %, *кедр гималайский* — 36,4 и *кедр атласский* — 12,3 %.

*Род сосна* представлен шестью видами в количестве 152 дерева: *сосна аллепская* — 53,9 %, *сосна итальянская* — 27, *сосна крымская* — 15,8 %. Три вида — *сосны желтая, пицундская и лучистая* — встречаются в единичных экземплярах (1–2 шт.).

При поиске исторических посадок, мы оттачивались от замечания А.И. Колесникова, что композиция парковых насаждений архитектурно была недостаточно выразительна. Поэтому, осуществляя современный анализ сохраненных композиций, мы понимали, что их ценность будет выражаться в первую очередь их историчностью, подтвержденной фотографиями или описаниями из литературных источников. И настоящее время для нас уже не будет важно — это однородные или смешанные группы хвойных, лиственных, листопадных или вечнозеленых растений, которые когда-то придавали отдельным участкам парка определенное архитектурное лицо. Для нас было важно выявить все исторические посадки и максимально их все сохранить (рис. 3).

Поэтому благодаря тому, что сохранилось много исторических фотографий и план парка 1908 г., нам удалось подтвердить многие исторические посадки, древесные композиции и проанализировать пространственную структуру и художественный образ парка.

На рис. 3 видны детали оформления дорожки, лестниц и молодые посадки. На открытом парковом пространстве использован контраст вечнозеленых растений разных декоративных форм, подпорных стенок и балюстрад. Также виден богатый ассортимент деревьев и кустарников, которые производят впечатление эклектики, что очень характерно для парков Южного берега Крыма.



**Рис. 3.** Лестница, видовая площадка и ресторан перед «Казино» (вид с моря) [20]

**Fig. 3.** Staircase, viewing platform and restaurant in front of the Casino (view from the sea) [20]

Анализ рис. 1–3 показал, что в начале XX в. преобладала открытая и полуоткрытая пространственная структура парка: доминировали горы, море и архитектурные сооружения. Но в настоящее время, когда выросли и вошли в период зрелости все деревья, стали преобладать закрытые пространства, а это значит, что современная ситуация в парке по сути отличается от исторического образа курортного парка Суук-Су и в ассортименте древесных насаждений и их соотношении произошли изменения.

### Выводы

В настоящее время художественный образ парка формируют хвойные деревья: кипарис вечнозеленый, три вида кедров и три вида сосны. В сочетании с молодыми древесными растениями они формируют полностью закрытое и немного полуоткрытое пространство, из-за которого уже практически не видно моря.

В начале XX в. в парке курорта Суук-Су преобладало открытое парковое пространство, в котором было много оформленных видовых точек на морские и горные ландшафты, а среди растительности преобладали тополь пирамидальный (основные вертикали, оформлявшие здания) и в большом количестве другие лиственные виды (см. рис. 1, 2). Кроме того, в парке произрастало достаточно много кустарников как лиственных, так и хвойных (см. рис. 3), многие из которых подвергались стрижке.

Парку необходима реконструкция пространственной структуры, требуется восстановление исторических видовых точек, открывающих виды на море и горы с помощью проведения санитарных и ландшафтных рубок деревьев.

Вместо распространенного в настоящее время кипариса пирамидального (*Cupressus sempervirens* f. *Pyramidalis*) следует вернуть в парк

культуру тополя пирамидального (*Populus nigra* f. *Pyramidalis*), поскольку он дает более мягкие и объемные вертикали, характерные для начала XX в., и они будут иначе сочетаться с кедрами, туями и соснами.

## Список литературы

- [1] Бондарь Ю.А., Абесинова Н.П., Никитина Е.Н., Сахаров А.Ф. Ландшафтная реконструкция городских садов и парков. Киев: Будивельник, 1982, 59 с.
- [2] Боговая И.О., Фурсова Л.М. Ландшафтное искусство. М.: Агропромиздат, 1988. С. 100–101.
- [3] Виртуальная экскурсия по Артеку. Часть 2. «Прибрежный». URL: <http://www.artekovetс.ru/putivnyk/2pu.html> (дата обращения 05.06.2019).
- [4] Суук-Су — курорт в Гурзуфе. Путеводитель. URL: [http://jalita.com/big\\_yalta/gurzuf/kurort\\_suuk-su.shtml](http://jalita.com/big_yalta/gurzuf/kurort_suuk-su.shtml) (дата обращения 23.06.2019).
- [5] Мальгин А. Русская Ривьера. Симферополь: Сонат, 2016, 349 с.
- [6] Свистунов Т.В. Гурзуф. Краеведческие очерки. Гурзуф, 2003. 132 с.
- [7] Суук-Су. URL: <https://krymkrymkrym.ru/suuk-su> (дата обращения 23.06.2019).
- [8] Калинин Н., Кадиевич А., Земляниченко М. Архитектор высочайшего двора. Симферополь: Бизнес-Информ, 2017. 230 с.
- [9] Крым: путеводитель / под ред. К.Ю. Бумбера, Л.С. Вагина, Н.Н. Клепина, В.В. Соколова. Симферополь: Типография Тавр. Губ. Земства, 1914. 109 с.
- [10] Артамонов А.А. Госдачи Крыма. История создания правительственных резиденций и домов отдыха в Крыму. Правда и вымысел». URL: <https://www.litmir.me/br/?b=264542&p=1> (дата обращения 23.06.2019).
- [11] Суук-Су. От аристократического курорта к детскому лагерю «Лазурный». URL: <http://www.artekovetс.ru/putivnyk/suuk.html> (дата обращения 23.06.2019).
- [12] Каспаржак А.А. «У Артека на носу приютился Суук-Су» — 115 лет назад основан знаменитый курорт. URL: <https://crimea-news.com/society/2018/08/01/430184.html> (дата обращения 23.06.2019).
- [13] Соловьев Г.Н. История курорта Суук-Су // Наше наследие, 1998. № 47. URL: <http://www.nasledie-rus.ru/podshivka/1998-47.php> (дата обращения 23.06.2019).
- [14] Безчинский А. Путеводитель по Крыму. М.: Т-во И.Н.Кушнарёв и К<sup>о</sup>, 1904. Т. XXII. 468 с.
- [15] Москвич Г.Г. Иллюстрированный практический путеводитель по Крыму. Одесса: Типография Л. Нитче, 1904. Т. VIII. 62 с.
- [16] Крым. Путеводитель / Под ред. К.Ю. Бумбера, Л.С. Вагина, Н.Н. Клепина, В.В. Соколова. Ч. I: Очерки Крыма. Ч. II: Справочная. Симферополь: Тип. Тавр. губ. земства, 1914. Т. VIII, 688 с.
- [17] Колесников А.И. Архитектура парков Кавказа и Крыма. М.: Государственное архитектурное издательство, 1949. 175 с.
- [18] Руденко А.О. «Суук-Су» курорт российской аристократии. Симферополь: ТНУ им. В.И.Вернадского, 2005. 14 с.
- [19] Дворец Суук-Су. URL: <https://hotel-enigma.ru/ekskursii/dvorec-suuk-su> (дата обращения 23.06.2016).
- [20] Шевцов Р., Куклис М. Природа России. Иллюстрированный путеводитель. М.: Издательство Э, 2016. 96 с.

## Сведения об авторе

**Леонов Левон Аветисович** — гл. инженер Управления по содержанию и развитию рекреационного ландшафта территории ФГБУ «Международный детский центр «Артек», 1006710@mail.ru

Поступила в редакцию 10.09.2019.

Принята к публикации 15.11.2019.

## HISTORICAL LANDSCAPES OF MODERN «ARTEK»: FEATURES OF «LAZURNY» PARK

**L.A. Leonov**

International Children's Center «Artek», 82, Leningrad City Hall, 298645, Gurzuf, Yalta, Republic of Crimea, Russia  
1006710@mail.ru

The article gives a brief historical and archival examination of Suuk-Su resort, on the territory of which the park «Lazurny» is currently located. The text gives the results of the inventory only for old-age trees, their analysis and the sequence of identification of historical planting. The material is illustrated with 3 historical photographs and table. Conclusions are drawn at the end of the article.

**Keywords:** Suuk-Su resort, Lazurny, Artek, old-age trees, historical planting, park compositions

**Suggested citation:** Leonov L.A. *Istoricheskie landshafity sovremennogo «Arteka»: osobennosti parka «Lazurnyy»* [Historical landscapes of modern «Artek»: features of «Lazurny» Park]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 34–40. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-34-40

## Reference

- [1] Bondar' Yu.A., Abesinova N.P., Nikitina E.N., Sakharov A.F. *Landshaftnaya rekonstruktsiya gorodskikh sadov i parkov* [Landscape reconstruction of city gardens and parks]. Kiev: Budivelnik, 1982, 59 p.
- [2] Bogovaya I.O., Fursova L.M. *Landshafnoe iskusstvo* [Landscape art]. M.: Agropromizdat, 1988, pp. 100–101.

- [3] *Virtual'naya ekskursiya po Arteku. Chast' 2. «Pribrezhnyy»* [Virtual tour of Artek. Part 2. «Pribrezhnyy»]. URL: <http://www.artekovetc.ru/putivnyk/2pu.html> (accessed 05.06.2019).
- [4] *Suuk-Su — kurort v Gurzuf. Putevoditel'* [Suuk-Su is a resort in Gurzuf. Guide]. URL: [http://jalita.com/big\\_yalta/gurzuf/kurort\\_suuk-su.shtml](http://jalita.com/big_yalta/gurzuf/kurort_suuk-su.shtml) (accessed 23.06.2019).
- [5] Mal'gin A. *Russkaya Riv'era* [Russian Riviera]. Simferopol: Sonat, 2016, 349 p.
- [6] Svistunov T.V. *Gurzuf. Kraevedcheskie ocherki* [Gurzuf. Local history essays]. Gurzuf, 2003, 132 p.
- [7] *Suuk-Su* [Suuk-Su]. URL: <https://krymkrymkrym.ru/suuk-su> (accessed 23.06.2019).
- [8] Kalinin N., Kadievich A., Zemlyanichenko M. *Arkhitektork vysochayshogo dvora* [Architect of the highest court]. Simferopol: Business Inform, 2017, 230 p.
- [9] *Krym. Putevoditel'* [Crimea. Travel Guide]. Eds. K.Yu. Bumber, L.S. Vagin, N.N. Klepin, V.V. Sokolov. Simferopol: Printing house Taurus. Lip. Zemstva, 1914, 109 p.
- [10] Artamonov A.A. *Gosdachi Kryma. Istoriya sozdaniya pravitel'stvennykh rezidentsiy i domov otdykha v Krymu. Pravda i vymysel* [State deliveries of the Crimea. The history of the creation of government residences and holiday homes in the Crimea. Truth and fiction]. URL: <https://www.litmir.me/br/?b=264542&p=1> (accessed 23.06.2019).
- [11] *Suuk-Su. Ot aristokraticheskogo kurorta k detskomu lageryu «Lazurnyy»* [Suuk-Su. From the aristocratic resort to the Lazurny children's camp]. URL: <http://www.artekovetc.ru/putivnyk/suuk.html> (accessed 23.06.2019).
- [12] Kasparzhak A.A. «U Arteka na nosu priyutilsya Suuk-Su» — 115 let nazad osnovan znamenityy kurort [«Suuk-Su was nestled in Artek's nose» – the famous resort was founded 115 years ago]. URL: <https://crimea-news.com/society/2018/08/01/430184.html> (accessed 23.06.2019).
- [13] Solov'ev G.N. *Istoriya kurorta Suuk-Su* [The history of the resort Suuk-Su]. *Nashe nasledie* [Our Heritage], 1998, no. 47. URL: <http://www.nasledie-rus.ru/podshivka/1998-47.php> (accessed 23.06.2019).
- [14] Bezchinskiy A. *Putevoditel' po Krymu* [Guide to the Crimea]. Moscow: Partnership I.N. Kushnarev & Co., 1904, t. XXII, 468 p.
- [15] Moskvich G.G. *Illyustrirovannyi prakticheskiy putevoditel' po Krymu* [Illustrated practical guide to the Crimea]. Odessa: Printing house L. Nitche, 1904, v. VIII, 62 p.
- [16] *Krym. Putevoditel'* [Crimea. Guide]. Eds. K.Yu. Bumber, L.S. Vagin, N.N. Klepinin, V.V. Sokolov. Part I: Essays on the Crimea. Part II: Background. Simferopol: Type. Taurus. lips. Zemstvov, 1914, t. VIII, 688 p.
- [17] Kolesnikov A.I. *Arkhitektura parkov Kavkaza i Kryma* [The architecture of the parks of the Caucasus and Crimea]. Moscow: State Architectural Publishing House, 1949, 175 p.
- [18] Rudenko A.O. «Suuk-Su» kurort rossiyskoy aristokratii [«Suuk-Su» Resort of the Russian aristocracy]. Simferopol: TNU them. V.I. Vernadsky, 2005, 14 p.
- [19] *Dvorets Suuk-Su* [Suuk-Su Palace]. URL: <https://hotel-enigma.ru/ekskursii/dvorec-suuk-su> (accessed 23.06.2019).
- [20] Shevtsov R., Kuklis M. *Priroda Rossii* Illyustrirovannyi putevoditel' [Nature of Russia. Illustrated guide]. Moscow: Publishing House E, 2016, 96 p.

## Author's information

**Leonov Levon Avetisovich** — Chief Engineer, Department for Maintenance and Development of Recreational Landscape of the Territory of FSBU International Children's Center «Artek», 1006710@mail.ru

Received 10.09.2019.

Accepted for publication 15.11.2019.

## ДЕКОРАТИВНЫЕ ВИДЫ ШИПОВНИКОВ ДЛЯ ОЗЕЛЕНЕНИЯ ВОЛГОГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

А.С. Соломенцева

ФГБНУ «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук», 400062, г. Волгоград, проспект Университетский, д. 97

alexis2425@mail.ru

Проведены исследования видов шиповников (*Rosa* L., семейства *Rosaceae*): *Rosa rugosa* — шиповник морщинистый, *R. cinnatomea* — коричный, *R. beggeriana* — Беггера, *R. acicularis* — иглистый, *R. ecae* — Эки, *R. pomifera* — яблочный, *R. spinosissima* — колючейший, *R. canina* — обыкновенный. В ходе лабораторных и полевых опытов установлено, что эти виды характеризуются высоким баллом засухоустойчивости и зимостойкости, а шероховатая поверхность листовой пластины растений позволяет им задерживать пыль. Кроме того, шиповники способны занимать обширные площади как доминантные виды, что определяет их почвопокровные функции, окраску цветков и плодов — энтомофильные (опыляемые насекомыми) и декоративные свойства. Различия по цвету, строению, форме и размеру плодов определяют их перспективность для озеленения, привлекают птиц. Неприхотливость, сочетание с деревьями и кустарниками в насаждениях различного типа дают возможность использовать указанные виды шиповников в озеленении территории с аридным климатом в целях улучшения декоративных достоинств и долговечности насаждений. Шиповники имеют огромное значение как лекарственные, пищевые, технические, медоносные, декоративные, почвоукрепляющие растения, что формирует их эколого-хозяйственные качества. По полученным результатам сделан вывод о том, что по общим эколого-биологическим качествам исследованные образцы можно рекомендовать для распространения в районах Волгоградской области с различными местными почвенно-климатическими условиями и в различных типах насаждений.

**Ключевые слова:** шиповники, *Rosa* L., озеленение, декоративные признаки, кустарники, рост

**Ссылка для цитирования:** Соломенцева А.С. Декоративные виды шиповников для озеленения Волгоградской области // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 41–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-41-50

В Волгограде и Волгоградской обл. нехватка зеленых насаждений носит выраженный характер — 10,8 м<sup>2</sup> зеленых насаждений на человека (в промышленных городах норма — 25...40 м<sup>2</sup>). На лес приходится только 186 тыс. га при потребности в 774 тыс. га. Волгоградская обл. отмечается континентальным климатом, характерными признаками которого являются амплитуды суточных и годовых показателей температуры атмосферного воздуха, небольшое количество осадков и их годовой ход, пыльные бури, высокие летние и низкие зимние значения температуры воздуха и другие метеорологические показатели [1, 2]. В Волгоградской обл. выделены два агроклиматических района: 1) район с черноземными почвами, продолжительностью безморозного периода 160 дней и суммой осадков 230...255 мм; 2) район с каштановыми, светло-каштановыми почвами и пойменными землями, продолжительностью безморозного периода от 148 дней и суммой осадков 170...145 мм [3]. Шквалистые ветры, понижение относительной влажности воздуха, большая испаряемость, малое количество годовых осадков, низкое содержание гумуса в почвах существенно ограничивают произрастание и замедляют развитие растений в Волгоградской обл. [2]. Нынешний ассортимент древесно-кустарниковой растительности можно расширить путем введения в его состав адаптированных и прошедших интродукционные испытания виды рода *Rosa* L. (шиповник) [3].

### Цель работы

Цель работы — выявление наиболее ценных, декоративных и экологически пластичных видов шиповников (*Rosa* L.) и обоснование их применения в озеленительных насаждениях Волгоградской обл.

### Материалы и методы исследования

Объект исследований — шиповники с различными ареалами естественного географического распространения: *R. rugosa* Thunb. — шиповник морщинистый, *R. Cinnatomea* L. — шиповник коричный, *R. beggeriana* Shrenk. L. — шиповник Беггера, *R. acicularis* Lindl. — шиповник иглистый, *R. Ecae* Aitch. — шиповник Эки, *R. pomifera* Herzm. — шиповник яблочный, *R. Spinosissima* L. — шиповник колючейший, *R. canina* — шиповник обыкновенный, и их формы, произрастающие в г. Волгограде, Камышинском и Калачевском районах Волгоградской обл. (рис. 1, табл. 1).

Ознакомление с растениями в дендрокolleкциях Федерального научного центра агроэкологии, комплексных лесомелиораций и защитного лесоразведения РАН проводилось в виде маршрутного обследования [4]. Оценка зимостойкости и засухоустойчивости растений, их цветения и плодоношения осуществлялась в баллах [5].

Оценка плодоношения (0–5 баллов): 0 баллов — растение не плодоносит, хотя по возрасту

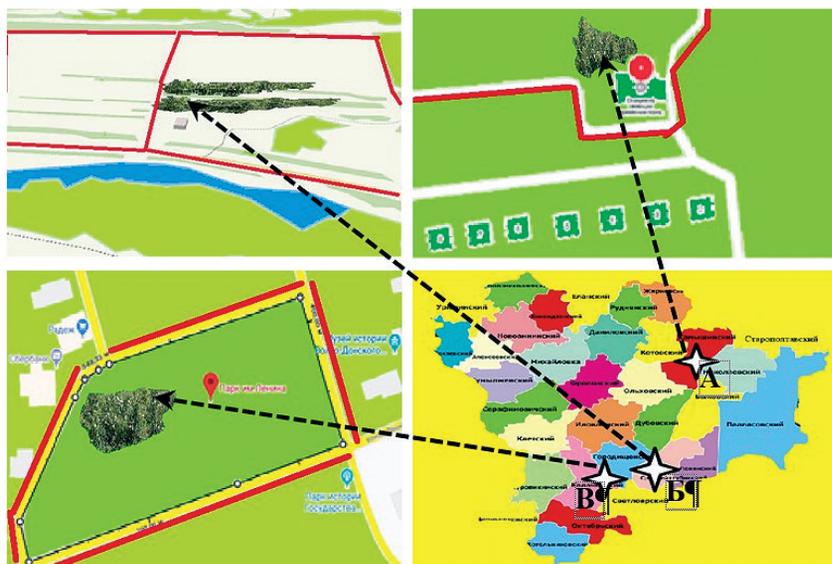


Рис. 1. Местоположение объектов исследования  
Fig. 1. Location of research objects

Т а б л и ц а 1  
Характеристика географических пунктов  
в районах исследования  
Characteristic locations of the areas of research

Географический пункт	Координаты	Почвы	Сумма средних суточных температур выше 10, °С
Волгоград	48°63' с.ш. 44°42' в.д.	Светло-каштановые	2800...3200
Пятиморск	48°65' с.ш. 43°61' в.д.	«»	2800...3200
Камышин	50°08' с.ш. 45°37' в.д.	Темно-каштановые	2800...3200

вступило в репродуктивную фазу, при этом учитываются следующие показатели: а) нет плодов и семян; б) семена и плоды есть, но не развиваются; в) у семян отсутствует всхожесть, хотя плоды дозревают до нормального состояния; 1 балл — визуально заметны единичные плоды; 2 балла — на растении заметны 25 % плодов от полного плодоношения, характерного для данного вида, сорта или формы; 3 балла — на растении заметны 50 % плодов от полного плодоношения характерного для данного вида, сорта или формы; 4 балла — на растении заметны 75 % плодов от полного плодоношения характерного для данного вида, сорта или формы; 5 баллов — на растении заметны 100 % плодов от полного плодоношения характерного для данного вида, сорта или формы [6].

Привлекательность плодов и их способность не опадать оценивалась по пятибалльной (1–5 баллов) шкале: 5 баллов — плоды правильной формы с гладкой поверхностью, не повреждены, размеры варьируют от крупных до средних, могут сохраняться на ветвях до нескольких месяцев; 4 балла — плоды не всегда правильной

формы, в основном с гладкой поверхностью, повреждения незначительны, размеры варьируют от крупных до средних, могут сохраняться на ветвях 2–3 мес.; 3 балла — плоды имеют средний внешний вид, с ребристой поверхностью и неправильной формы, на них есть повреждения, размеры плодов варьируют от средних до мелких, могут сохраняться на ветвях до 2 мес.; 2 балла — плоды некрасивой формы, повреждены, мелких размеров; 1 балл — плоды некрасивой формы, значительно повреждены, мелких размеров.

Аромат цветков оценивался по 5-балльной шкале: 5 баллов — очень сильный; 4 балла — сильный; 3 балла — средний; 2 балла — слабый; 1 балл — очень слабый [7–9]. По методикам А.В. Семенютиной были изучены показатели декоративности и степень адаптации видов (табл. 2) [10]. Погода изучалась по данным сайта «Климатический монитор» [11].

### Результаты и обсуждение

В результате многолетних исследований автором установлено, что рассматриваемые виды шиповников засухоустойчивы и морозостойки. Оценка видов по 5-балльной шкале составила 1–2 балла, что послужило основанием для проведения дальнейших исследований в целях их использования в насаждениях районов Волгоградской обл. Полезные свойства шиповников представлены на рис. 2.

Использование насаждений с участием шиповников при создании садово-парковых композиций улучшает условия окружающей среды, поскольку наряду с наличием декоративных свойств они обладают пылезадерживающими свойствами. Надземная фитомасса (масса листвы, занимаемая лиственной площадью на растении) изучаемых видов шиповников определяет их главные функции:

Т а б л и ц а 2

**Шкала засухоустойчивости и зимостойкости изучаемых видов**  
**Scale of drought resistance and winter hardiness of the studied species**

Зимостойкость	Засухоустойчивость	Степень адаптации	Балл
Не заметны повреждения вследствие низкой температуры	Не заметны повреждения высокой температурой	1,0	1
Повреждено до 50 % побегов возрастом до 1-го года	Снижен тургор листьев, заметно снижен прирост	0,8	2
Побеги текущего года отмерли, старые повреждены частично	Листва и молодые побеги повреждены частично, прирост может снизиться многократно или отсутствует	0,6	3
Обмерзли побеги и скелетные ветви возрастом 2–3 года	Скелетные ветви повреждены, что не позволяет восстановить растению надземную часть	0,4	4
Надземная часть куста (или выше снежного покрова) полностью вымерзла	Надземная часть куста погибла	0,2	5
Растение погибло	Растение погибло	0	6



**Рис. 2.** Многоцелевое назначение видов шиповников  
**Fig. 2.** Multi-purpose species of wild roses

экологические, декоративные и средообразующие [12]. Ветви, листва, стволы могут задерживать значительную часть пыли, которая затем смывается дождем или снегом. Полог зеленых насаждений способен создавать разности температур, что, в свою очередь, также способствует осаждению пыли на землю [13–16]. Шероховатая поверхность листовой пластины влияет на способность видов шиповников задерживать пыль и аккумуляцию, снижать скорость проходящего через насаждения загрязненного воздушного потока на 60...70 % [17, 18].

Листочки сложного листа шиповника имеют различия в строении. Так, у *R. rugosa* листочки округлые, в некоторых случаях имеют форму эллипса, выраженно морщинистые, толстые, сверху голые, снизу — опушенные, серо-зеленого цвета с простыми короткими тупыми зубцами.

*R. acicularis* имеет глубокозубчатые широкоэллиптические или узко-продолговатые листочки, сизые, голые, иногда снизу тонковолосистые, чаще только по жилкам.

Листочки у *R. cinnamomea* продолговато-эллиптические, однозубчатые, без железок, обычно голые снизу, сверху — ярко- или сизовато-зеленые.

У *R. beggeriana* листочки продолговато-яйцевидные или эллиптической формы, просто-зубчатый или почти двоякозубчатый, с 10...20 зубцами с каждой стороны.

*R. ecae* имеет листочки сизоватого цвета с 4...9 зубцами с каждой стороны, сверху гладкие и без волосков, снизу иногда имеющие волоски, с большим количеством железок. У *R. pomifera* листочки довольно крупные, имеющие широкоэллиптическую форму, продолговатые, их края почти параллельны, клейкие, снизу железистые и войлочные, по краям сложнопильчатые.

Листочки *R. canina* голые или редко опушенные, яйцевидной или округлой формы, заостренные, остродвоякопильчатые, с направленными к верхушке железистыми зубчиками.

У *R. spinosissima* листочки длиной 1–2 см, округло-яйцевидной формы, тупые, голые, с 5...15 зубцами с каждой стороны, темно-зеленые сверху и светло-зеленые снизу. Окраска и форма листьев имеет большое значение при использовании шиповников в насаждениях для декоративных целей.

Проведенные исследования показали, что наибольшую длину и ширину листа имеет вид *R. beggeriana* (длина 3,2 м, ширина 2,0 см), наименьшую — вид *R. spinosissima* (длина 1,3 см, ширина 0,7 см).

Массу сухих листьев 2,79 г имеет вид *R. canina*, чем значительно отличается от других видов. Наибольшей пылезакрывающей способностью отличается вид *R. rugosa*, поверхность листа этого вида покрыта волосками. Все изучаемые интродуценты по эколого-биологическим характеристикам обладают высоким баллом декоративности, устойчивы к воздействию засухи и мороза, способны улучшать средообразующие показатели при введении в ассортимент насаждений (рис. 3).



а



б



в



г

**Рис. 3.** Почвопокровные (а, б), энтомофильные (в) и декоративные (г) виды шиповника в условиях Волгограда  
**Fig. 3.** Rose hips as ground cover (a, б), entomophilous (в) decorative (г) the types in conditions of Volgograd region

В условиях Волгоградской обл. виды шиповников вступают в фазу плодоношения в 2–3 года. При наступлении спелости плодов (или гипантиев) их окраска становится красной. Сбор плодов осуществляется осенью. Различия их качественных признаков и количества делают возможным отбор наиболее перспективных видов для озеленения. Плоды могут оставаться на растении всю зиму и служить кормом для птиц (табл. 3).

В такие различные типы декоративных озеленительных насаждений, как солитеры, группы, уличные и аллеи посадки, живые изгороди, опушки шиповники можно включать, поскольку они отличаются быстрым ростом, неприхотливостью и простотой ухода.

Декоративные качества изучаемых видов определяют окраска листьев, ветвей, лепестков, форма цветков и плодов в течение всего периода роста и развития. Обрезка растений — омолаживающая, формовочная, восстановительная, санитарная проводится в следующих целях:

– уборка сухих и поврежденных ветвей, утрачивших декоративность;

- прореживание кроны;
- сохранение ранее приданных кроне размеров;
- омоложение кроны.

При обрезке ветвей кустарников учитывают форму их кроны, ее возрастные изменения, типы ветвления побегов, вероятность пробуждения спящих почек и способность видов переносить обрезку (табл. 4).

Шиповники не отличаются требовательностью к плодородию почв, они способны произрастать на обедненных по составу землях, на склонах, днищах оврагов, каменистых участках [8]. Самой обильной урожайностью отличаются шиповники, растущие на богатых почвах, где их виды образуют мощную разветвленную корневую систему.

Применение шиповников в обустройстве территории с аридным климатом может способствовать улучшению декоративных качеств и долговечности насаждений.

Шиповники распределяют в насаждениях по декоративным свойствам и длительности их проявления в течение вегетационного периода (табл. 5).

Т а б л и ц а 3

**Привлекательность (в баллах) и характеристика плодов шиповников по видам**  
**Attractive (in points) and characteristic of fruit species of wild roses**

Вид	Характеристика плодов		
	Описание	Размер, см	Привлекательность, баллы
<i>R. rugosa</i> Thunb.	Мясистые, шаровидные, ярко-красные	$\frac{1,24 \dots 1,38}{1,33 \pm 0,05}$	5
<i>R. pomifera</i> Herrm.	Поникающие, округлые, пурпурные	$\frac{1,43 \dots 1,78}{1,59 \pm 0,04}$	4
<i>R. beggeriana</i> Schrenk.	Шаровидные, гладкие, красные, иногда черноватые	$\frac{2,23 \dots 2,74}{2,4 \pm 0,06}$	4
<i>R. spinosissima</i> L.	Простые, узколанцетные, суженные до основания	$\frac{1,00 \dots 1,13}{1,08 \pm 0,02}$	5
<i>R. ecae</i> Aitch.	Очень мелкие, шаровидные, черно-фиолетовые	$\frac{0,80 \dots 1,00}{0,90 \pm 0,04}$	4
<i>R. canina</i> L.	Овально-продолговатые или округлые, гладкие, красные	$\frac{2,19 \dots 2,89}{2,54 \pm 0,07}$	5
<i>R. acicularis</i> Lindl.	Яйцевидные, чаще обратно-грушевидные, красные	$\frac{1,67 \dots 1,81}{1,72 \pm 0,03}$	5
<i>R. cinnamomea</i> L.	Шаровидные, реже яйцевидные, гладкие, оранжевые или красные	$\frac{2,56 \dots 3,02}{2,67 \pm 0,03}$	5

\*В числителе указано минимальное и максимальное значение признака, в знаменателе ( $X \pm s$ ) — среднее значение и его погрешность.

Т а б л и ц а 4

**Ассортимент видов, сочетаемых с шиповниками в декоративных насаждениях, и способы их обрезки**  
**Assortment of species combined with rose hips in ornamental plantings and ways of trimming**

Вид	Расстояние между растениями в насаждении	Способ обрезки
<i>Lárix sibirica</i>	50...80 см	Формовочная, прореживающая
<i>Filipendula vulgaris</i>	40...50 (низкорослые 30...40) см	Формовочная
<i>Picea abies</i>	Не менее 1 м	Формовочная, санитарная
<i>Abies alba</i> Mill.	2,5 м (карликовые формы — 1,0...1,5 м)	Формовочная, санитарная, прореживающая
<i>Lonicera tatarica</i>	1,5...3 м	Формовочная, омолаживающая
<i>Philadelphus coronarius</i> L.	0,5...1,5 м	То же
<i>Betula pendula</i>	3...4 м (1,5...2,0 м для карликовых форм)	Санитарная, формовочная, омолаживающая

Рассматриваемые виды шиповников отличаются наилучшей долговечностью и устойчивостью, адаптивностью и пластичностью по отношению к абиотическим факторам.

Шиповники можно использовать в посадках мест отдыха, парках, пейзажных группах, где они достигают максимального декоративного

эффекта вследствие разнообразия форм и проницаемости крон, отношения к свету, окраски листьев (рис. 4).

Шиповники можно использовать в противоабразионных насаждениях санитарно-защитной зоны, поскольку противоабразионные насаждения регулируют аккумулятивную деятельность волн и прибоя, предотвращая разрушение берега (абразию), укрепляют берега и защищают их от загрязнений антропогенного характера и разрушений волнами, а также на откосах оврагов и промышленных площадках (табл. 6).

Биоэкологический потенциал и декоративные свойства позволяют рекомендовать виды *R. ecae* (шиповник Эки), *R. rugosa* (шиповник морщинистый), *R. spinosissima* (шиповник колючейший) для садово-парковых насаждений и цветников. Яблочный шиповник (*R. pomifera*) и иглистый шиповник (*R. acicularis*) — в группы, живые изгороди среднего размера, ремизы. Шиповник обыкновенный (*R. canina*) и шиповник Беггера (*R. beggeriana*) — в солитерные посадки, группы в парках, аллеях, в одиночные посадки и высокие живые изгороди. Таким образом, в условиях Волгоградской обл. указанные шиповники — засухо- и морозоустойчивы, прекрасно адаптируются к засушливому климату и являются декоративными видами (табл. 7).

Биоморфологические параметры (число цветков в соцветии, количество генеративных и вегетативных побегов) и признаки (строение листовой пластины, куста) шиповников позволяют установить их биологический потенциал и хозяйственное значение (рис. 5) [19, 20].

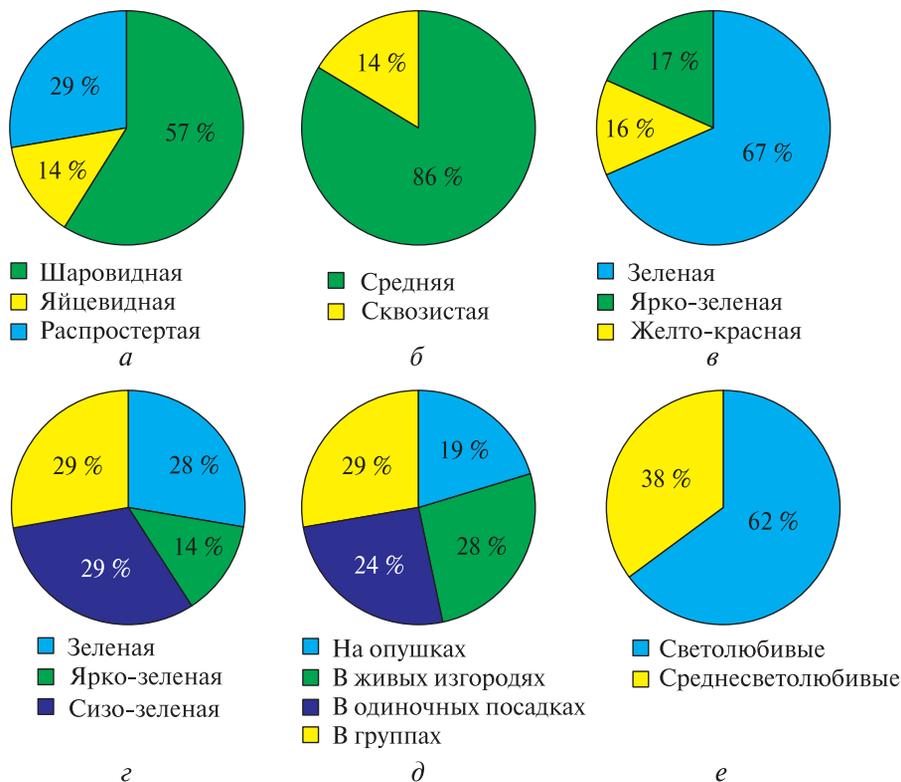


Рис. 4. Характеристика видов *Rosa L.* для озеленительных посадок: а — форма; б — проницаемость; в — осенняя окраска; г — летняя окраска; д — применение; е — отношение к свету

Fig. 4. Characteristics of the species *Rosa L.* for planting greenery: а — form; б — permeability; в — autumn coloring; г — summer coloring; д — application; е — relation to light

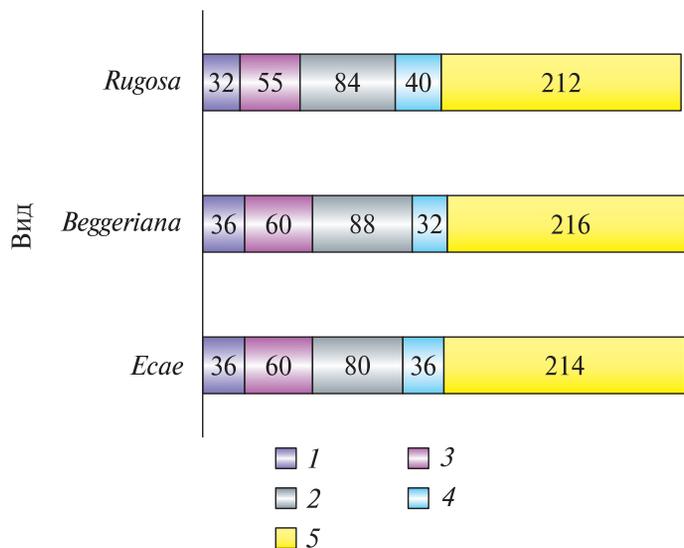


Рис. 5. Распределение видов шиповников по признакам перспективности: 1 — биохимические обладают фармакологической и пищевой ценностью (x3); 2 — биоценотические, способны влиять на насаждения (x4); 3 — биоэкологические, устойчивы к стресс-факторам, успешно размножаются (x5); 4 — биосоциальные, отличаются декоративностью, сочетаются с другими видами, применимы в озеленительных и декоративных посадках (x2); 5 — сумма баллов

Fig. 5. Distribution of rosehip species by benefits: 1 — biochemicals have pharmacological and nutritional value (x3); 2 — biocenotic, capable of influencing plantings (x4); 3 — bioecological, resistant to stress factors, successfully reproduce (x5); 4 — biosocial, distinguished by decorativeness, combined with other species, applicable in landscaping and ornamental plantings (x2); 5 — total points

Т а б л и ц а 5

**Декоративные признаки интродуцированных шиповников в условиях Волгограда**  
**Decorative features introduced wild roses in conditions of Volgograd**

Вид шиповника	Декоративные признаки							
	I. Жизненная форма	II. Форма кроны	III. Окраска листьев	IV. Цветение (сроки)	V. Цветение (продолжительность)	VI. Окраска цветков	VII. Плодоношение	VIII. Осенняя окраска листьев
<i>R. beggeriana</i>	III	V	0	I, II	I	I	IV	I
<i>R. spinosissima</i> (ф. низкорослая)	IV	V	0	I, II	I	I	I	I
<i>R. cinnatomea</i>	III	II	0	II	I	III	III, IV	I
<i>R. rugosa</i> (ф. низкорослая)	IV	V	0	II, III, IV	V	III	III, IV	I
<i>R. canina</i>	III	V	0	II	I	III	IV	I
<i>R. ecae</i>	IV	VII	0	I, II	I	II	I	I
<i>R. pomifera</i>	III	VII	0	II	I	III	III, IV	I
<i>R. acicularis</i>	III	V	0	II	I	III, IV	IV	I

*Примечание.* I. III — среднерослый кустарник от 1 до 2 м, IV — низкорослый кустарник, до 1 м; II. II — яйцевидная, V — шаровидная, VII — распростертая; III. 0 — зеленая, обычная; IV. I — ранневесеннее (апрель — начало мая), II — весеннее (май), III — весенне-летнее (конец мая — июнь), IV — летнее (конец июня — июль — август); V. I — до 10 дней, V — более 70 дней; VI. I — белая, II — желтая, бледно-желтая, III — розовая, интенсивно-розовая, IV — красная, лососевая, оранжевая; VII. I — черная, III — соломенно-желтая, желтая, оранжевая, IV — красная, розовая; VIII. I — преобладают желтые и оранжевые тона.

Т а б л и ц а 6

**Ландшафтные объекты, на которых возможна посадка различных видов шиповников**  
**Types of landscape objects on which it is possible to plant different types of wild roses**

Вид шиповника	Городские улицы	Парки и поселковые скверы	Приусадебные лесные полосы на откосах	Промышленные площадки	Откосы оврагов	Лесопарковые зоны
<i>R. rugosa</i>	Для живых изгородей	В различные типы насаждений	В различные типы насаждений	В различные типы насаждений	В различные типы насаждений	В различные типы насаждений
<i>R. canina</i>	Для живых изгородей	В различные типы насаждений	В различные типы насаждений	Не рекомендуется к посадке	Не рекомендуется к посадке	В различные типы насаждений
<i>R. spinosissima</i>	Для живых изгородей	Для живых изгородей	В порядке испытания	То же	В различные типы насаждений	В различные типы насаждений
<i>R. cinnatomea</i>	Для живых изгородей	В различные типы насаждений	В различные типы насаждений	«»	Не рекомендуется к посадке	В различные типы насаждений
<i>R. beggeriana</i>	Для живых изгородей	В различные типы насаждений	Не рекомендуется к посадке	«»	То же	В различные типы насаждений
<i>R. ecae</i>	Для живых изгородей	Для живых изгородей	То же	«»	В различные типы насаждений	В различные типы насаждений
<i>R. acicularis</i>	Для живых изгородей	Для живых изгородей	«»	«»	Не рекомендуется к посадке	В различные типы насаждений
<i>R. pomifera</i>	Для живых изгородей	В различные типы насаждений	«»	«»	«»	В различные типы насаждений

## Распределение интродуцированных шиповников по районам применения

## Distribution of introduced wild roses on areas of application

Район	Сумма положительных средних суточных температур выше 10, °С	Сумма осадков, мм	Средняя продолжительность безморозного периода, дни	Рекомендуемые виды <i>Rosa</i> :
Умеренно-засушливый район с черноземными почвами	2800	230...250	160	<i>acicularis, spinosissima, cinnamomea, rugosa, canina, pomifera</i>
Засушливый район с каштановыми почвами	2800...3200	200...245	148...170	<i>beggeriana, acicularis, spinosissima, innamomea, rugosa, canina, pomifera</i>
Резко засушливый нагорный район со светло-каштановыми почвами	2800...3200	175...200	148...170	<i>beggeriana, acicularis, spinosissima, innamomea, rugosa, canina, pomifera, ecae</i>
Сухой район с пойменными почвами	3000...4000	160...175	163...169	<i>beggeriana, spinosissima, cinnamomea, rugosa, canina, ecae</i>

Биоэкологические, биоценотические, биохимические и биосоциальные признаки позволяют дать интегральную оценку перспективности шиповников для их переноса в новые условия произрастания.

## Выводы

Лекарственные, пищевые, технические, медоносные, декоративные, почвоукрепляющие свойства шиповников определяют их эколого-хозяйственные качества. Виды *R. rugosa* (шиповник морщинистый) и *R. canina* (шиповник обыкновенный) отличаются высшим баллом декоративности в течение периода вегетации. По общим эколого-биологическим качествам изучаемые виды шиповников возможно рекомендовать для районов Волгоградской обл. с различными почвенно-климатическими условиями и в различные типы озеленительных посадок. Из видов низкорослых шиповников, можно создавать живые изгороди высотой до 1 м, опушки, группы, цветники и использовать в газонных композициях. Высокие кустарники (*Rosa beggeriana*, *Rosa canina*) рекомендуются для посадок в массивах или живых изгородях с любым типом обрезок. Из видов шиповников средней высоты (*Rosa pomifera*, *Rosa acicularis*, *Rosa cinnamomea*) можно формировать живые изгороди высотой до 1–2 м.

## Список литературы

- [1] Сажин А.Н. Погода и климат Волгоградской области. Волгоград: ФНЦ агроэкологии РАН, 2017. 334 с.
- [2] Kollmann J., Frederiksen L., Vestergaard P., Bruun N.H. Limiting factors for seedling emergence and establishment of the invasive non-native *Rosa rugosa* in a coastal dune system // *Biological Invasions*, 2007, no. 9(1), pp. 31–42.
- [3] Крети́нин В.М. Лесопригодность почв агролесомелиоративных районов // Лесомелиорация и ландшафт, 1993. Вып. 1 (105). С. 50–59.
- [4] Семенютина А.В., Соломенцева А.С. Обоснование ассортимента шиповников для обогащения лесомелиоративных комплексов в засушливых условиях // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование, 2013. № 3–1 (31). С. 71–79.
- [5] Соломенцева А.С. Эффективность выращивания шиповников в засушливых климатических условиях // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов «Перспективные направления исследований в изменяющихся климатических условиях». Саратов, НИИ сельского хозяйства Юго-Востока, 18 марта 2014 г. Саратов: Ракурс, 2014. С. 539–543.
- [6] Семенютина А.В., Свинцов И.П., Кулик Д.К., Хужахметова А.Ш., Семенютина В.А., Климов А.Д., Дрепина О.И., Костюков С.М. Справочник-путеводитель: питомник древесных растений как объект научно-исследовательского, экологического и культурно-просветительского профиля. Волгоград: ВНИАЛМИ, 2015. 64 с.
- [7] Alpert P., Bone E., Holzapfel C. Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants // *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics (PPEES)*, 2000, no. 3, pp. 52–66. DOI: 10.1078/1433-8319-00004
- [8] Методика фенологических наблюдений в ботанических садах АН СССР. М.: ГБС АН СССР, 1975. 28 с.
- [9] Варданыян Ж.А. Методологические аспекты оценки декоративности древесных растений // Доклады национальной академии наук Армении, 2017. Т. 117. № 4. С. 340–349.
- [10] Семенютина А.В. Ассортимент деревьев и кустарников для мелиорации агро- и урбололандшафтов засушливой зоны: науч.-метод. рекомендации. М.: РАСХН, 2002. 59 с.
- [11] Погода и климат. URL: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34560> (дата обращения: 19.07.2019).
- [12] Соколова Т.А. Декоративное растениеводство. М.: Академия, 2004. 352 с.
- [13] Semenyutina A.V., Podkovyrov I.U., Semenyutina V.A. Environmental efficiency of the cluster method of analysis of greenery objects decorative advantages // *Life Science Journal*, 2014, pp. 699–702.

- [14] Nybom H. Introduction to *Rosa*. Genetics and Genomics of *Rosaceae*. N.Y.: Springer, 2009, v. 6, pp. 339–351.
- [15] Bruun H.H. Prospects for biocontrol of invasive *Rosa rugosa* // *BioControl*, 2006, v. 51, pp. 141–181. DOI 10/1007/s10526-005-6757-6
- [16] Popek R. *Dziko rosnaće rože* Europy. Krakow: Oficinal Botanica, 2007, 120 p.
- [17] Solomentseva A.S., Kostyukov S.M. Laws of intraspecific polymorphism of *Rosa canina* on endogenous, population and geographical levels for their effective practical application // Материалы X междунар. науч.-практ. конф. «Вектор развития современной науки». М.: Олимп, 2016. С. 40–45.
- [18] Joublan J.P., Rios D. Rose culture and industry in Chile // *Acta Hortic*, 2005, no. 690, pp. 65–70.
- [19] Соколова Т.А., Бочкова И.Ю., Бобылева О.Н. Цвет в ландшафтном дизайне. М.: ЗАО «Фитон +», 2007. 128 с.
- [20] Вергунов А.П., Денисов М.Ф., Ожегов С.С. Ландшафтное проектирование. М.: Архитектура-С, 1991. 237 с.

## Сведения об авторе

**Соломенцева Александра Сергеевна** — науч. сотр. лаборатории биотехнологий Федерального научного центра агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения РАН, alexis2425@mail.ru

Поступила в редакцию 28.08.2019.

Принята к публикации 12.12.2019.

## ORNAMENTAL SPECIES OF WILD ROSES FOR LANDSCAPING VOLGOGRAD REGION

**A.S. Solomentseva**

Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation, of the Russian Academy of Sciences, 97, University av., 400062, Volgograd, Russia

alexis2425@mail.ru

Introduction of new species of flowering shrubs into green plantings is of great importance for regions with arid, dry climate and insufficient range of woody and shrub vegetation. Objects of research were the types of wild roses (*Rosa* L., *Rosaceae* family): *Rosa rugosa*, *R. cinnamomea*, *R. beggeriana*, *R. acicularis*, *R. ecae*, *R. pomifera*, *R. spinosissima*, *R. canina*. In the course of laboratory and field experiments, it was found that the studied species of rose hips have a high score of drought resistance and winter hardiness, and the different structure of their leaf plates and phytoncid properties allow them to retain dust. The ability of rose hips to occupy large areas as dominant species determines their ground cover functions, color of flowers and fruits — entomophilic (pollinated by insects) and decorative properties. Differences in external attractiveness, structure. The shape of the fruit, as well as their size makes the species promising for landscaping and attractive to birds. The simplicity, combined with other species of trees and shrubs in plantations of various types makes possible to use the studied types of wild roses in the urban change areas with arid climate to improve decorative qualities and durability of plantings. Rose hips are great importance as medicinal, food, technical, honey, decorative, soil-strengthening plants, which determines their ecological and economic qualities. The results of the research allowed us to conclude that the general ecological and biological qualities of the studied samples may be recommended for areas of the Volgograd region with different soil and climatic conditions and in different types of landscaping and decorative plantings.

**Keywords:** wild rose, *Rosa* L., landscaping, decorative features, shrubs, growth

**Suggested citation:** Solomentseva A.S. *Dekoratивnye vidy shipovnikov dlya ozeleneniya Volgogradskoy oblasti* [Ornamental species of wild roses for landscaping Volgograd region]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 41–50. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-41-50

## References

- [1] Sazhin A.N. *Pogoda i klimat Volgogradskoy oblasti* [Weather and climate of the Volgograd region]. Volgograd: FNTs agroekologii RAN [FSC Agroecology RAS], 2017, 334 p.
- [2] Kollmann J., Frederiksen L., Vestergaard P., Bruun H.H. Limiting factors for seedling emergence and establishment of the invasive non-native *Rosa rugosa* in a coastal dune system. *Biological Invasions*, 2007, no. 9 (1), pp. 31–42.
- [3] Kretinin V.M. *Lesoprigradnost' pochv agrolesomeliorativnykh rayonov* [Forest suitability of soils in agroforestry regions] *Lesomelioratsiya i landshaft* [Forest reclamation and landscape], 1993, iss. 1 (105), pp. 50–59.
- [4] Semenyutina A.V., Solomentseva A.S. *Obosnovanie assortimenta shipovnikov dlya obogashcheniya lesomeliorativnykh kompleksov v zasushlivykh usloviyakh* [Justification of the assortment of rose hips for enrichment of forest reclamation complexes in arid conditions] *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* [Bulletin of the Lower Volga Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education], 2013, no. 3–1 (31), pp. 71–79.

- [5] Solomentseva A.S. *Effektivnost' vyrashchivaniya shipovnikov v zasushlivykh klimaticheskikh usloviyakh* [The effectiveness of rosehip cultivation in arid climatic conditions] Mater. Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. mol. uchenykh i spetsialistov «Perspektivnye napravleniya issledovaniy v izmenyayushchikhsya klimaticheskikh usloviyakh» [Int. scientific-practical conf. pier scientists and specialists «Promising areas of research in changing climatic conditions»]. Saratov, Research Institute of Agriculture of the Southeast. Saratov: Racurs, 2014, pp. 539–543.
- [6] Semenyutina A.V., Svintsov I.P., Kulik D.K., Khuzhakhmetova A.Sh., Semenyutina V.A., Klimov A.D., Drepina O.I., Kostyukov S.M. *Spravochnik-putevoditel': pitomnik drevesnykh rasteniy kak ob'ekt nauchno-issledovatel'skogo, ekologicheskogo i kul'turno-prosvetitel'skogo profilya* [Reference book: nursery of woody plants as an object of research, environmental and cultural-educational profile]. Volgograd: VNIALMI, 2015, 64 p.
- [7] Alpert P., Bone E., Holzapfel C. Invasiveness, invasibility and the role of environmental stress in the spread of non-native plants. *Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics (PPEES)*, 2000, no. 3, pp. 52–66. DOI: 10.1078 / 1433-8319-00004
- [8] *Metodika fenologicheskikh nablyudeny v botanicheskikh sadakh AN SSSR* [The methodology of phenological observations in the botanical gardens of the USSR Academy of Sciences]. Moscow: GBS AN SSR, 1975, 28 p.
- [9] Vardanyan Zh.A. *Metodologicheskie aspekty otsenki dekorativnosti drevesnykh rasteniy* [Methodological aspects of assessing the decorativeness of woody plants] *Doklady natsional'noy akademii nauk Armenii* [Reports of the National Academy of Sciences of Armenia], 2017, v. 117, no. 4, pp. 340–349.
- [10] Semenyutina A.V. *Assortiment derev'ev i kustarnikov dlya melioratsii agro- i urbolandshaftov zasushlivoy zony: nauchn.-metod. rekomendatsii* [Assortment of trees and shrubs for land reclamation of agricultural and urban landscapes in the arid zone: scientific method. recommendations]. Moscow: RAAS, 2002, 59 p.
- [11] *Pogoda i klimat* [Weather and climate]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php?id=34560> (accessed: 19.07.2019).
- [12] Sokolova T.A. *Dekorativnoe rastenievodstvo* [Ornamental crop production]. Moscow: Akademiya [Academy], 2004, 352 p.
- [13] Semenyutina A.V., Podkovyrov I.U., Semenyutina V.A. Environmental efficiency of the cluster method of analysis of greenery objects decorative advantages. *Life Science Journal*, 2014, pp. 699–702.
- [14] Nybom H. Introduction to *Rosa*. Genetics and Genomics of Rosaceae. N.Y.: Springer New York, 2009, v. 6, pp. 339–351.
- [15] Bruun H.H. Prospects for biocontrol of invasive *Rosa rugosa*. *BioControl*, 2006, v. 51, pp. 141–181. DOI 10/1007 / s10526-005-6757-6
- [16] Popek R. *Dziko rosnaçe rože Europy*. Krakow: Officinal Botanica, 2007, 120 p.
- [17] Solomentseva A.S., Kostyukov S.M. Laws of intraspecific polymorphism of *Rosa canina* on endogenous, population and geographical levels for their effective practical application. *Materialy Kh mezhhdunar. nauchno-prakticheskoy konferentsii «Vektor razvitiya sovremennoy nauki»* [Materials of X Intern. scientific-practical conference «Vector of the development of modern science»]. Moscow: Olympus, 2016, pp. 40–45.
- [18] Joublan J.P., Rios D. Rose culture and industry in Chile. *Acta Horti*, 2005, no. 690, pp. 65–70.
- [19] Sokolova T.A., Bochkova I.Yu., Bobyleva O.N. *Tsvet v landshaftnom dizayne* [Color in landscape design]. Moscow: ZAO «Fiton+», 2007, 128 p.
- [20] Vergunov A.P., Denisov M.F., Ozhegov S.S. *Landshaftnoe proektirovanie* [Landscape design]. M.: Architecture-S, 1991. 237 p.

## Author's information

**Solomentseva Aleksandra Sergeevna** — Research fellow of the laboratory of biotechnology of the Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the RAS, alexis2425@mail.ru

Received 28.08.2019.

Accepted for publication 12.12.2019.

УДК 712.6

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-51-58

## ЭВОЛЮЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ НАТУРАЛЬНОГО КАМНЯ ОТ РИМСКИХ ДОРОГ ДО НАШИХ ДНЕЙ

**В.А. Фролова**

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

frolova@mgul.ac.ru

Представлена технология создания дорог данного типа, специфика производства работ, уделено большое внимание деталям. История технологии создания дорожных одежд из натурального камня, логика применения материалов в конструкции основания, оценка достоинств и недостатков дают возможность современным проектировщикам придти к целесообразному использованию каменной брусчатки и избежать ошибок при производстве работ. Мощение из каменной колотой брусчатки в современном благоустройстве городов имеет много альтернатив, однако сохраняет популярность не только благодаря высокому эстетическому качеству, но и высокой несущей способности и износостойчивости. При изготовлении каменной брусчатки даже на современном производстве присутствует в большом количестве ручной труд. Укладка каменной брусчатки в рисунок мощения выполняется вручную и представляет собой кропотливую работу по подгонке камня по форме и фактуре. Именно рукотворность данного типа материала создает уникальность и неповторимость образа. В статье использованы рисунки автора.

**Ключевые слова:** мостовая, брусчатка, конструкция дорожного покрытия, технология укладки, натуральный камень, римские дороги

**Ссылка для цитирования:** Фролова В.А. Эволюция технологии создания дорожных одежд из натурального камня от римских дорог до наших дней // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 51–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-51-58

**М**ощение из каменной колотой брусчатки в современном благоустройстве городов имеет много альтернатив, однако сохраняет популярность не только благодаря высокому эстетическому качеству, но и высокой несущей способности и износостойчивости. Рукотворность материала данного типа создает уникальную неповторимость образа, связывающую нас с далекой культурой предыдущих поколений строителей.

Принципиальная конструкция слоев дорожного основания под мощение из натурального камня развивалась в несколько этапов со времени строительства дорог Римской империей. Верхнее покрытие во времена античности создавалось из разных по размерам и форме камней, которые, удерживая и цепляясь краями один за другой, представляли собой устойчивое дорожное покрытие, дошедшее до наших дней в рабочем состоянии.

### Цель работы

В статье рассматривается технология создания дорожных одежд из натурального камня, изучение которой, следуя логике применения материалов в конструкции основания, позволит современным проектировщикам придти к использованию каменной брусчатки, избегая ошибок и заблуждений в работе с данным материалом.

### Материалы и методы

В настоящее время в городском благоустройстве распространены случаи быстрого изнашивания дорожных покрытий, их преждевременной деформации и разрушения, что связано не только

с ошибками, допущенными при проектировании и выборе конструкции, но и с нарушениями технологии производства строительных работ. При проектировании дорожных покрытий широко применяются типовые конструкции дорожных одежд, выбор которых происходит автоматически — не оценивая значение каждого слоя. В связи с этим актуальным вопросом на сегодня является разумный подход к проектированию покрытий из колотого камня. Изучение истории технологии создания дорожных одежд из натурального камня, логики применения материалов в конструкции основания, оценка достоинств и недостатков позволит современным проектировщикам придти к целесообразному использованию каменной брусчатки и избежать ошибок при производстве работ.

*Брусчатка колотая* (англ. paving stone, cube, tile stone) представляет собой элементы мощения, по форме обычно близкие кубу, изготовленные из твердых горных пород — базальта, гранита, порфира, габборо-диабазы путем раскалывания каменных глыб на близкие по форме и размеру фрагменты (рис. 1).

Производство брусчатки колотой из гранита остается низко-автоматизированным процессом с высокой долей ручного труда. Раскалывание каменных глыб осуществляется преимущественно мощным гидравлическим прессом, но поскольку каждая глыба камня по своему уникальна, ее позиционирование для раскалывания рабочий осуществляет вручную, что позволяет уменьшить количество брака в конечном продукте.

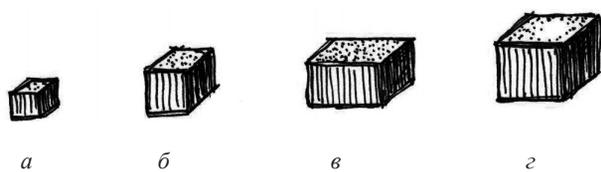


Рис. 1. Виды и размеры каменной брусчатки, см: *a* — 6×6×6; *б* — 10×10×10; *в* — 10×20×10; *г* — 12×12×12

Fig. 1. Types and sizes of paving stones, cm: *a* — 6×6×6; *б* — 10×10×10; *в* — 10×20×10; *г* — 12×12×12

В классификации мощения брусчатка относится к наборным дорожным покрытиям и занимает промежуточную позицию между природным камнем (галькой, булыжником) и каменными плитами правильной формы, сочетая в себе пропорции размеров природного камня и рукотворную геометрию.

## История

Первые дорожные покрытия — мостовые — из крупного необработанного камня найдены в сохранившихся до наших дней поселениях римлян, возраст которых насчитывает около 2000 лет. Римские дороги (англ. Roman roads) были построены между населенными пунктами, предназначенными для передвижения войска и торговых караванов. Для их строительства применялись крупные по размеру камни без определенной формы, которые дополняли мелкими камнями. Настоящим шедевром римской инженерии стали знаменитые *Via publicae* — мощеные общественные дороги, построенные по технологии, пережившей тысячелетия. Технология римского дорожного строительства достаточно подробно описал выдающийся архитектор и механик античного мира (I век до н.э.) Марк Витрувий Поллион (Marcus Vitruvius Pollio).

Использование обработанного камня для создания дорожных покрытий широко распространилось значительно позднее, начиная с середины XVI в. в эпоху Возрождения, в городах Италии. Это были обтесанные вручную камни черного базальта, по форме близкие к параллелепипеду, т. е. *sampietrini* (*sanpietrini*) — от названия площади Piazza San Pietro в Риме, где в 1725 г. такой тип камня использовали при ее реконструкции [1]. Достаточно крупные по размеру — 12×12×18 см — камни укладывали рядами со сдвигом один относительно другого. Такой тип мощения активно использовался на протяжении последующих 200 лет, что обеспечивало достаточно ровное, устойчивое и долговечное дорожное покрытие.

Брусчатка колотая среднего и мелкого размера появилась в Европе во второй половине XIX в. с развитием пневматического оборудования для колки натурального камня, и широко распространилась уже в XX в. [2].

Москва также известна своими мостовыми из натурального камня. Первая — появилась в Кремле в 1643 г. на территории Патриаршего двора.

В начале XVIII в. использование камня для мощения улиц отражено в указах императора Петра I. Так, в 1700 г. был дан указ «собирать мостовые деньги со всех московских дворов в Стрелецкий приказ» [2], а крестьяне были обязаны добывать и привозить в Москву «дикий» камень, и чтобы каждый был не меньше гусиного яйца, что таким образом компенсировало отсутствие в окрестностях Москвы природных месторождений камня. Центральным районам предписывалось сплошное мощение камнем улиц и переулков: «в Кремле и Китае всякому перед своим домом мостить каменные мосты» [2].

Первая брусчатка колотая появилась на улицах Москвы в 1870-е гг., как один из вариантов экспериментального покрытия мостовых наряду с асфальтом. «Для значительного движения весьма хороша брусчатка. В Москве она применяется трех типов: нормальная брусчатка высотой 15–16 см, устраиваемая на песчаном основании; в путях трамвая применяется облегченная брусчатка, высотой 12–14 см; бруккенштейн или пониженная брусчатка, укладываемая на слое бетона; клейнпфлястер или мозаика с кубиками высотой 8–10 см (например, на Тверской, в форме круговых дуг), на бетонном основании с песчаной прослойкой между бетоном и мозаикой» [3].

В 1912–1914 гг. 57 % площади новых московских мостовых уложили из гранитной брусчатки, 18 — асфальтом и 22 % — булыжником [3, 4].

На Красной площади в Москве положена брусчатка крупного размера (10×20×20 см), по своему внешнему виду напоминающая средневековую итальянскую. Камни для Красной площади были специально изготовлены в начале 1930-х гг., когда износившееся булыжное покрытие заменили брусчаткой колотой из габбро-диабазы. Поскольку блоки добывались колотым способом, каждая плитка на поверхности имеет неповторимый рисунок, значительную толщину, что обеспечивает устойчивость перед нагрузкой до 30 т. Рязанские мостовщики-брусчатники осуществляли укладку по следующей технологии: снимали неровный, износившийся булыжник, укладывали полуметровый слой речного песка, на него — слой известнякового щебня, уплотняя катками. Затем вручную снова насыпали слой речного песка и на него выкладывали брусчатку по специальной схеме. Такая же брусчатка уложена на Баррикадной улице и Троицком мосту г. Москвы [4].

## Конструкция

Древние римляне в конструкции основания дороги использовали три основных слоя из ма-

териалов, которые были добыты в прилегающих к строительству окрестностях [5].

Строительство дороги начиналось с разметки трассы, обозначенной двумя параллельными траншеями, которые были расположены на расстоянии, соответствующем ширине будущей дороги (2,5...4,5 м). Отмечалась зона производства работ и строителям объясняли характер почв в данной местности. Затем между траншеями извлекали грунт, формируя выемку для закладки основания дороги (рис. 2).

Нижним слоем основания дороги служил Statumen — опора, которую устраивали из крупных обломков камня твердых пород размером 20...50 см, укладывая на выровненную поверхность грунта слоем толщиной 30...60 см. На него насыпали следующий слой — Rudus (или Ruderatio) — щебень толщиной 25...30 см из камня более мелкой фракции с добавлением известняка и золы кремния или пемзы вулканического происхождения (pozzolana). Мелкие камни расклинивали крупные осколки камня основания, создавая более ровную поверхность, одновременно с этим при попадании воды, известняк и кремний вступали в химическую реакцию, в результате которой слой затвердевал (цементировался), создавая слой, препятствующий проникновению влаги с поверхности внутрь основания дороги.

Третий слой основания — Nucleus (ядро), слой из смеси песка и битого камня, толщиной около 15 см, который могли заменять осколки керамических горшков и кирпича. Он принимал на себя основную нагрузку от колес движущихся по дороге повозок и колесниц.

Если дорога находилась на подъезде к городу или была в пределах римского города, в конструкцию добавляли еще один — четвертый слой Agger (или Pavimentum), т. е. мостовую.

Для верхнего слоя покрытия применялись большие каменные плиты в виде многоугольников свободной формы (породы камня могли быть разные, в зависимости от местности, например, вулканический кремнезем или известняк). Камни обтесывали так, чтобы они максимально плотно прилегали один к другому. Тяжелые камни укладывали на слой песка и утапливали их в нем. Промежутки между большими плитами заполняли камнями меньшего размера, с добавлением pozzolana, создавая клинья в целях обеспечения поддержки крупных камней, что не позволяло им смещаться под нагрузкой.

Таким образом, разные по размерам и форме камни оказывались прочно связанными между собой, удерживая и цепляясь краями один за другой. В совокупности они представляли собой устойчивое дорожное покрытие, дошедшее до наших дней в рабочем состоянии (рис. 3).

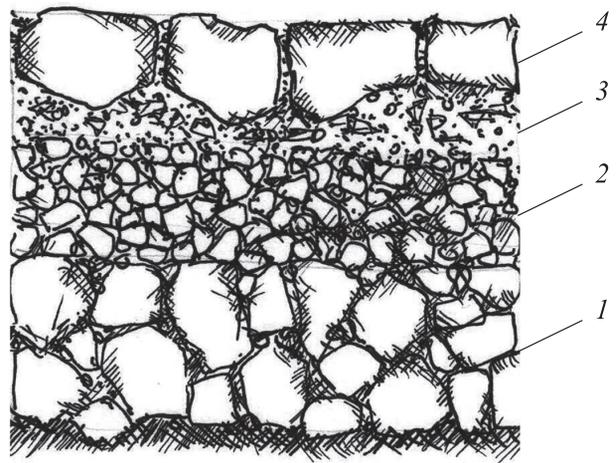


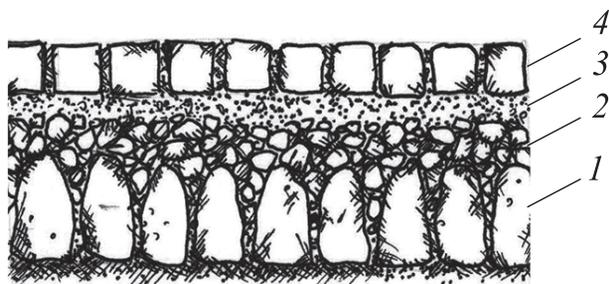
Рис. 2. Конструкция римской дороги: 1 — Statumen (30...60 см); 2 — Rudus (25...30 см); 3 — Nucleus (15 см); 4 — Pavimentum

Fig. 2. The construction of the Roman road: 1 — Statumen (30...60 cm); 2 — Rudus (25...30 cm); 3 — Nucleus (15 cm); 4 — Pavimentum



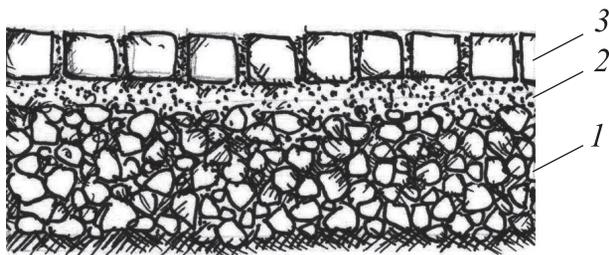
Рис. 3. Внешний вид городской улицы в г. Помпеи (Италия)  
Fig. 3. The view of the city street in Pompeii (Italy)

Римские дороги имели симметричный двухскатный выпуклый поперечный профиль. Самая высокая высотная отметка располагалась на оси дороги, от которой уклоны покрытия, направленные к краям, обеспечивали быстрое удаление дождевых вод с поверхности дороги. По краям дороги по контуру мощения в грунт вертикально устанавливали крупные массивные камни (Umbones), которые удерживали края дорожной конструкции от разрушения.



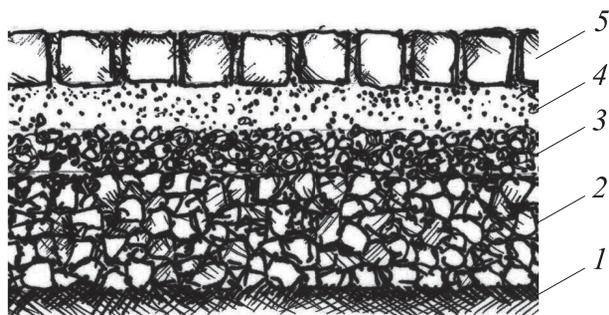
**Рис. 4.** Конструкция мощения из брусчатки на основании из пакеляжа (капитальная): 1 — пакеляж толщиной 15...17 см; 2 — щебень толщиной 8...9 см; 3 — цементно-песчаная смесь толщиной 3...4 см; 4 — брусчатка или мозаика толщиной 10...12 см

**Fig. 4.** The design of paving from paving stones on the basis of the hand-packed stones (capital): 1 — hand-packed stones with a thickness of 15 ... 17 cm; 2 — crushed stone with a thickness of 8 ... 9 cm; 3 — cement-sand mixture with a thickness of 3 ... 4 cm; 4 — paving stones or mosaics with a thickness of 10 ... 12 cm



**Рис. 5.** Конструкция мощения из брусчатки на основании из щебня (капитальная): 1 — щебень толщиной 18...25 см; 2 — цементно-песчаная смесь толщиной 3 см; 3 — брусчатка или мозаика толщиной 9 см

**Fig. 5.** The design of paving with paving stones on the basis of crushed stone (capital): 1 — crushed stone with a thickness of 18...25 cm; 2 — cement-sand mixture with a thickness of 3 cm; 3 — paving stones or mosaic 9 cm thick



**Рис. 6.** Конструкция покрытия из брусчатки колотой на основании из щебня: 1 — грунтовое основание; 2 — несущее основание (крупный щебень); 3 — несущее основание (средний щебень); 4 — слой, связывающий основание и верхнее покрытие; 5 — брусчатка 10×10×10 см

**Fig. 6.** The design of the coating with chipped paving stones on the basis of crushed stone: 1 — soil base; 2 — bearing base (large crushed stone); 3 — bearing base (middle crushed stone); 4 — a layer connecting the base and top coating; 5 — paving stones 10 × 10 × 10 cm

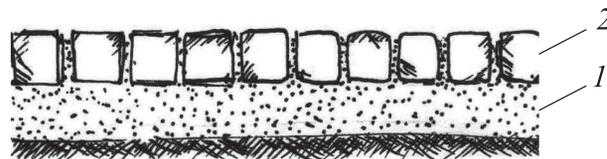
В послевоенные годы мозаичные покрытия из натурального камня активно использовались для устройства мостовых. Справочник архитектора 1946 г. предлагает два типа конструкций: капитальную и облегченную [6]. Конструкция капитального типа похожа на конструкцию римской дороги, где в качестве статумента используется пакеляж — каменно-щебеночное основание из каменной шашки, устанавливаемое на слое песка вертикально острием вверх с выравниванием поверхности слоем щебня (рис. 4). Слой пакеляжа могли заменять слоем крупного щебня, на который мелкая брусчатка («мозаика») укладывалась с фиксацией на цементно-песчаную смесь (рис. 5) [7].

Современная конструкция слоев дорожной одежды из брусчатки колотой по-прежнему включает в себя четыре основных слоя, опирающихся на подготовленное грунтовое основание (рис. 6).

Несущее основание состоит из двух слоев щебня разных фракций, переносит на себя нагрузку от движущихся по поверхности транспорта и пешеходов и обеспечивает дренирование слоев покрытия, предотвращая его подтопление. Нижний слой основания выполняется крупным щебнем из твердых пород камня, верхний — щебнем среднего размера, который при уплотнении расклинивает крупные камни нижнего слоя и выравнивает поверхность. Поверх слоев несущего основания насыпают подстилающий слой, в который и помещают брусчатку. Он связывает между собой щебеночное основание и верхний слой конструкции. Лучшим материалом для него является мелкий щебень (фракция 1...3 мм) или песок (1...4 мм), можно использовать смесь щебня с песком или смесь песка и цемента (в соотношении 4:1) [8].

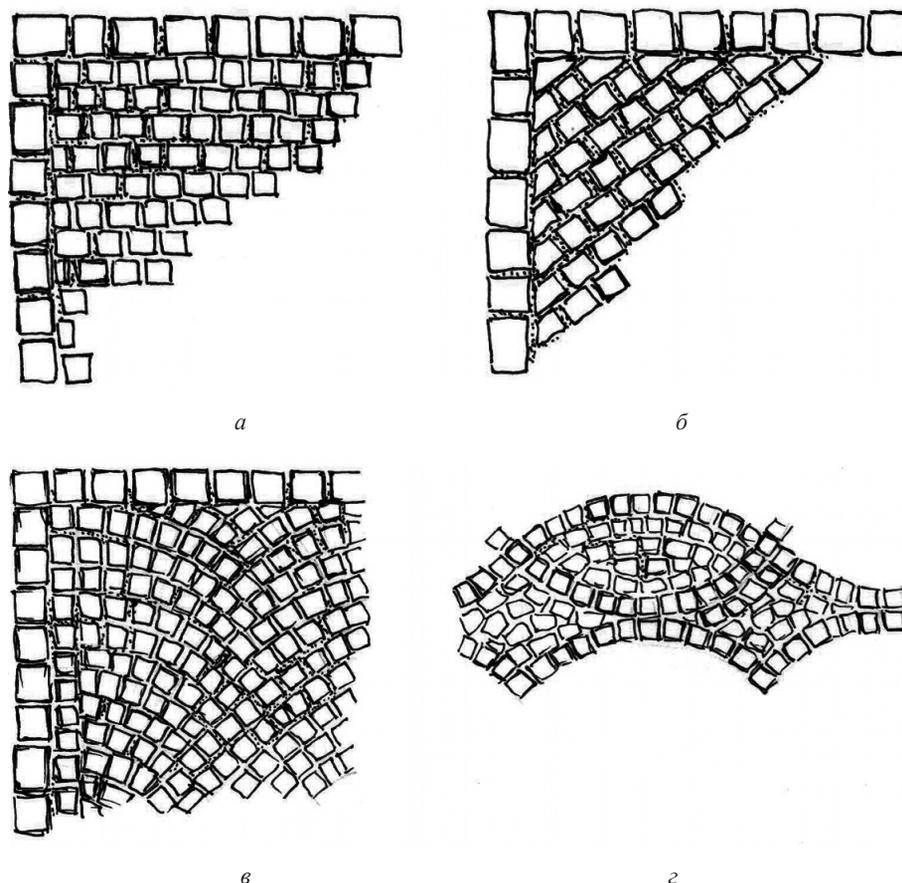
В случаях устройства дороги временного типа из брусчатки с разборным покрытием, например «при неупорядоченности подземного хозяйства» [7], использовалась облегченная конструкция. Брусчатку укладывали на основание из песка с добавлением цемента 200 кг/м<sup>2</sup>, в садово-парковом строительстве — на основание из чистого песка без добавления цемента [9–11] (рис. 7).

В настоящее время мощение из брусчатки колотой редко применяется для строительства



**Рис. 7.** Конструкция покрытия из брусчатки на основании из песка, стабилизированного цементом: 1 — цементно-песчаная смесь; 2 — брусчатка

**Fig. 7.** The design of the coating with paving stones on the basis of sand stabilized by cement: 1 — cement-sand mixture; 2 — paving stones



**Рис. 8.** Примеры раскладки камня мощения из брусчатки прямыми (*a*) и диагональными (*б*) рядами, дугами (*в*) и сегментами-дугами (*г*)

**Fig. 8.** Examples of laying paving stones with straight (*a*) and diagonal (*б*) rows, arcs (*в*) and arc segments (*г*)

новых дорог, для которых характерно интенсивное движение транспорта на высокой скорости. Дороги с таким покрытием нуждаются в регулярном поддержании их хорошего состояния в рамках текущего технического обслуживания. Покрытия из каменной брусчатки сохраняются также на исторических пешеходных улицах в городах с возможностью эпизодического проезда транспорта. Для решения указанных задач также используют облегченную конструкцию (см. рис. 7).

## Технология

Укладка каменной брусчатки в рисунок мощения выполняют мастера вручную. Это — кропотливая работа, особенно с учетом подгонки камня по форме и фактуре. Конечный результат при этом во многом определяет мастерство исполнителей и качество камня.

В зависимости от выбранного рисунка мощения перед началом укладки мощения рабочий проводит необходимые расчеты, переносит на объект линии разбивки и вспомогательные оси, а также сортирует камни.

Мощение из брусчатки колотой является классическим видом мозаичного мощения. Известно несколько основных наиболее часто используемых рисунков выкладки камня: прямыми рядами, диагональными рядами, дугами («рыбья чешуя», «павлиний хвост»), сегментами-дугами (рис. 8) [6, 10, 11].

Мощение рядами следует начинать с укладки лотковых и крайних продольных рядов и, при наличии, камней, формирующих лоток вдоль края дороги, с перевязкой швов не менее чем на  $1/3$  камня (шашки). Два крайних продольных ряда укладывают с опережением на  $0,7 \dots 1,0$  м, заполняя швы раствором. При продольном уклоне свыше  $10\%$ , а также при односкатном поперечном профиле мощение следует вести снизу вверх [12].

Центральную часть дороги выкладывают рядами, перпендикулярными или диагональными к оси дороги, либо дугами по заданному рисунку выпуклостью кривых в сторону подъема. Подбор камня и его подгонка осуществляются с помощью молотка каменщика, с учетом необходимого смещения брусчатки в рядах не менее чем на  $1/3$  длины камня, в дугах — на  $1/2$  камня при ширине швов не более  $10$  мм.

После завершения работ по укладке мощения его уплотняют от края дороги к середине по рядам, используя механические трамбовки: сразу после мощения мостовую трамбуют (делают обжимку); после первой россыпи расклинивающего щебня трамбуют вторично. При использовании капитальных конструкций с массивным основанием (см. рис. 5, 6) после второй россыпи расклинивающего мелкого щебня для уплотнения можно использовать катки допустимой массы. Уплотнение следует заканчивать при прекращении визуально заметной осадки камней. Перед открытием движения транспорта мостовую засыпают слоем 1,5...2 см из песка, мелкого щебня, дресвы или гравия крупностью до 10 мм. Движение транспортных средств в первые 10...15 сут необходимо регулировать по всей ширине мостовой [12–20].

Облегченная конструкция (см. рис. 7) предусматривает укладку камней на сухое подготовленное основание, утрамбовывание, заполнение швов смесью цемента с песком и обильное смачивание водой. Такой способ позволяет создать монолитное покрытие, увеличить его жесткость. Для успешного результата следует выполнять операции по установке камней и заполнению швов между ними в один день, пока раствор не застыл. Скорость застывания раствора зависит от погодных условий (температуры, влажности воздуха и т. д.), как ограничивающего фактора для рассматриваемого способа укладки мощения.

Кроме перечисленных выше материалов для герметизации швов между каменными элементами мощения можно использовать горячую асфальтовую мастику или холодную битумную эмульсию. Герметизация швов в элементах дорожного покрытия необходима для сглаживания неровностей между камнями и создания препятствий для просачивания воды, которая может повредить мощение при замерзании или вызвать эрозию (размывание) подстилающих слоев основания.

Какой бы способ не был выбран для укладки мощения, по завершении следует провести тщательную очистку стоков, колодцев и всех элементов ливневой сети во избежание затвердевания материала, которым были заполнены швы мощения.

Брусчатка колотая часто используется в качестве тактильного покрытия фрагментами на проезжих частях улиц, например перед пешеходным переходом. В таких случаях камни укладывают на бетонное основание, использованное для тротуара [13].

## Выводы

Отмечено, что различные типы оснований для мощения из натуральной брусчатки колотой существенно влияют на характеристику дорожной одежды, на ее свойства и устойчивость к нагрузкам.

Проведенный анализ литературных источников и собственные наблюдения позволили выявить достоинства и недостатки брусчатки колотой в ходе эксплуатации, которые важно учитывать при выборе данного типа мощения.

**Достоинства:** повышенные надежность и долговечность; высокая несущая способность; устойчивость к размытию покрытия; монолитность (при условии использовании щебеночного основания); сохранение целостности при подвижках почвы и чрезмерных нагрузках; проницаемость для воды, позволяющая сократить объем поверхностного стока, за счет его дренирования; высокие эстетические качества; в частности четко структурированный рисунок [14].

**Недостатки:** высокая стоимость материалов и производства работ, в том числе большие затраты труда квалифицированных рабочих при укладке; весьма высокий уровень шума, вызываемого движением транспорта; неприятная вибрация в салоне автотранспорта; вибрации, передающиеся зданиям; очень низкое сцепление колес с мокрой брусчаткой (особенно шлифованной), что может вызвать занос автотранспорта даже при малой скорости движения; непригодность для высокоскоростного движения; особая опасность для мотоциклистов при движении по мокрой брусчатке во время осадков; неудобство для ходьбы, особенно на высоких и тонких каблуках типа «шпилька».

Несмотря на перечисленные недостатки, мощение из натуральной брусчатки колотой находит место в современном благоустройстве городов, при строительстве объектов ландшафтной архитектуры, реконструкциях и реставрациях. Этот тип мощения не утратил популярность и очарование, унаследованные с исторических времен, сохранил ощущение надежности, богатую отделку натуральным камнем, сочетание неповторимости природного материала и ручной работы мастера.

Развитие технологий строительства, в том числе связанных с высокой точностью резки камня, не должно удалить колотый камень из наших городов в память о римских дорогах, средневековых улицах и площадях.

## Список литературы

- [1] Путеводитель по Риму. ROMABELLA. URL: <https://www.romabella.com/en/things-to-do-en/sampietrini/> (дата обращения 12.09.2019).
- [2] Бартнев С.П. Московский Кремль в старину и теперь. В 2 т. // Исторический очерк кремлевских укреплений. М.: Синодальная типография, 1912. Т. 1. С. 32–78.
- [3] История московских мостовых: от дерева до плитки. Прогулки по Москве. URL: <http://moscowwalks.ru/2016/11/30/mostovye/> (дата обращения 08.09.2019).
- [4] Отголоски прошлого, или где в Москве прогуляться по брусчатой мостовой. URL: <https://www.mos.ru/news/item/29328073/> (дата обращения 08.09.2019).

- [5] Kirkwood N. The Art of Landscape detail. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 352 p.
- [6] Справочник архитектора. Т. II. М.: Академия архитектуры СССР, 1946. 454 с.
- [7] Словарь основных терминов, необходимых при проектировании, строительстве и эксплуатации автомобильных дорог. М.: Высшая школа, 1967. 123 с.
- [8] Теодоронский В.С., Сабо Е.Д., Фролова В.А. Строительство и содержание объектов ландшафтной архитектуры / под ред. В.С. Теодоронского. М.: Юрайт, 2018. 363 с.
- [9] Бакутис В.Э. Инженерное благоустройство городских территорий. М.: Стройиздат, 1979. 239 с.
- [10] Wirth P. Gartenanlage. Stuttgart.: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co, 2004. 214 p.
- [11] Lomer W. Koppen R. Garten-und Landschafts-bau. Stuttgart.: Eugen Ulmer GmbH & Co, 2003. 478 p.
- [12] СП 78.13330.2012 Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03–85 (с Изменением N 1) URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095529> (дата обращения 08.09.2019).
- [13] Альбом типовых решений (стандартов) комплексного благоустройства территории «вылетных» магистралей города Москвы. М., 2015. 512 с.
- [14] Handbook of Landscape Architectural construction. (First Edition) Vol. II. Site Works. Washington: Landscape Architecture Foundation, 1988. 322 p.
- [15] Сардаров А.С. Архитектура автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1993. 272 с.
- [16] Автомобильные дороги: безопасность, экологические проблемы, экономика (российско-германский опыт) / под ред. В.Н. Луканина, К.Х. Ленца. М.: Логос, 2002. 624 с.
- [17] Буслаев А.П., Кузьмин Д.М. К вопросу об интеллектуальных системах в дорожном движении // Наука и техника в дорожной отрасли, 2006. № 2. С. 33–40.
- [18] Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. М.: Транспорт, 1989. 240 с.
- [19] Васильев А.П., Дингес Э.В., Когендон М.С. Ремонт и содержание дорог: справочная энциклопедия дорожника. Т. 2 / под ред. А.П. Васильева. М.: Информавтодор, 2004. 507 с.
- [20] Черепанов В.А. Транспорт в планировке городов. М.: Стройиздат, 1981. 216 с.

## Сведения об авторе

**Фролова Вера Алексеевна** — канд. с.-х. наук, зав. кафедрой ландшафтной архитектуры и садово-паркового строительства МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [frolova@mgul.ac.ru](mailto:frolova@mgul.ac.ru)

Поступила в редакцию 03.10.2019.  
Принята к публикации 04.12.2019.

## EVOLUTION OF NATURAL STONE ROAD PAVEMENTS FROM ROMAN ROADS TO THE PRESENT

V.A. Frolova

BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia  
[frolova@mgul.ac.ru](mailto:frolova@mgul.ac.ru)

The basic layer composition, which forms the roadway base under natural stone paving, has gone through several stages of evolution since the construction of Roman roads. In Antiquity, the top surface has been created with stones of different size and shape, which, by interlocking, clinged to each other with their edges and created a stable road surface that still survives to this day. With the development of mechanical processing methods for natural stones, the elements that made up the road surface acquired a cubical shape, now known as paving stones. This article is devoted to this very form. It reflects the technology of creating roads made with paving stones, the work specifics, and pays a lot of attention to detail. Paving within modern urban environments made with chipped paving stones has many alternatives, however, it remains popular not only due to its high aesthetic qualities, but also due to outstanding bearing capacity and stellar wear resistance. Within the manufacturing process of paving stones, even in modern production, there is a large amount of manual labor. Laying stone pavers in paving patterns is a painstaking job of adjusting each stone in regards to its shape and texture done manually by craftsmen. It is the handmade-ness of this type of material that creates a unique craftsmanship, leisurely, inimitable image that connects us with the distant culture of previous generations of builders. The article is illustrated by the authors own visuals.

**Keywords:** pavement, paving stones, pavement construction, paving technology, natural stone, Roman roads

**Suggested citation:** Frolova V.A. *Evolyutsiya tekhnologii sozdaniya dorozhnykh odezhd iz natural'nogo kamnya ot rimskikh dorog do nashikh dnei* [Evolution of natural stone road pavements from roman roads to the present]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 51–58. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-51-58

## References

- [1] *Putevoditel' po Rimu* ROMABELLA [Rome guide]. Available at: <https://www.romabella.com/en/things-to-do-en/sampietrini/> (accessed 12.09.2019).
- [2] Bartenev S.P. *Moskovskiy Kreml' v starinu i teper'* [Moscow Kremlin in old times]. *Istoricheskiy ocherk kremlevskikh ukreplenyi* [Historical article about Kremlin fortification]. Moscow: Sinodal'naya tipografiya, 1912, t. 1, pp. 32–78.
- [3] *Istoriya moskovskikh mostovykh: ot dereva do plitki* [History of Moscow pavements; from wood to concrete]. Available at: <http://moscowwalks.ru/2016/11/30/mostovyey/> (accessed 08.09.2019).

- [4] *Ot goloski proshlogo, ili gde v Moskve progulyat'sya po bruschatoy mostovoy* [Echoes of the past, or where in Moscow you can go for a walk on the natural stone pavement]. Available at: <https://www.mos.ru/news/item/29328073/> (accessed 08.09.2019).
- [5] Kirkwood N. *The Art of Landscape detail*. N.Y.: John Wiley & Sons, Inc., 1999. 352 p.
- [6] *Spravochnik arkhitekatora* [Architect handbook]. T. II. Moscow: Akademiya arkhitektury SSSR, 1946, 454 p.
- [7] *Slovar' osnovnykh terminov, neobkhodimyykh pri proektirovanii, stroitel'stve i ekspluatatsii avtomobil'nykh dorog* [Dictionary of main terms for design, building and maintenance of roads]. Moscow: Vysshaya shkola, 1967, 123 p.
- [8] Teodoronskiy V.S., Sabo E.D., Frolova V.A. *Stroitel'stvo i sodержание ob'ektov landshaftnoy arkhitektury* [Building and maintenance of parks and gardens]. Ed. V.S. Teodoronskiy. Moscow: Yurayt, 2018, 363 p.
- [9] Bakutis V.E. *Inzhenernoe blagoustroystvo gorodskikh territoriy* [City engineer infrastructure]. Moscow: Stroyizdat, 1979, 239 p.
- [10] Wirth P. *Gartenanlage*. Stuttgart.: Verlag Eugen Ulmer GmbH & Co, 2004. 214 p.
- [11] Lomer W. Koppen R. *Garten-und Landschafts-bau*. Stuttgart.: Eugen Ulmer GmbH & Co, 2003. 478 p.
- [12] *SP 78.13330.2012 Avtomobil'nye dorogi. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 3.06.03–85* [Roads. Building regulations]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/12000955> (accessed 08.09.2019).
- [13] *Al'bom tipovykh resheniy (standartov) kompleksnogo blagoustroystva territorii «vyletnykh» magistral'ey goroda Moskvy* [Album of standard solutions (standards) for comprehensive improvement of the territory of “departure” highways of the city of Moscow]. Moscow, 2015, 512 p.
- [14] *Handbook of Landscape Architectural construction. (First Edition) Vol. II. Site Works*. Washington: Landscape Architecture Foundation, 1988. 322 p.
- [15] Sardarov A.S. *Arkhitektura avtomobil'nykh dorog* [Architecture of highways]. Moscow: Transport, 1993, 272 p.
- [16] *Avtomobil'nye dorogi: bezopasnost', ekologicheskie problemy, ekonomika (rossiysko-germanskiiy opyt)* [Roads: safety, environmental problems, economics (Russian-German experience)]. Ed. V.N. Lukanin, K.X. Lenza. Moscow: Logos, 2002, 624 p.
- [17] Buslaev A.P., Kuz'min D.M. *K voprosu ob intellektual'nykh sistemakh v dorozhnom dvizhenii* [To the question of intelligent systems in traffic] *Nauka i tekhnika v dorozhnoy otrasli* [Science and technology in the road industry], 2006, no. 2, pp. 33–40.
- [18] Lobanov E.M. *Transportnaya planirovka gorodov* [Transport layout of cities]. Moscow: Transport, 1989, 240 p.
- [19] Vasil'ev A.P., Dinges E.V., Kogendon M.S. *Remont i sodержание dorog: spravochnaya entsiklopediya dorozhnika* [Repair and maintenance of roads: a reference road encyclopedia]. T. 2. Ed. A.P. Vasiliev. Moscow: Informavtodor, 2004, 507 p.
- [20] Cherepanov V.A. *Transport v planirovke gorodov* [Transport in city planning]. Moscow: Stroyizdat, 1981, 216 p.

## Author's information

**Frolova Vera Alekseevna** — Cand. Sci. (Agriculture), Head of Landscape architecture department of BMSTU (Mytishchi branch), [frolova@mgul.ac.ru](mailto:frolova@mgul.ac.ru)

Received 03.10.2019.

Accepted for publication 04.12.2019.

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ МАШИН И ХАРВЕСТЕРНЫХ АГРЕГАТОВ ДЛЯ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНОМУ КРИТЕРИЮ ТЕХНОЛОГА — УДЕЛЬНОЙ ЭНЕРГОЕМКОСТИ

С.Б. Якимович, Ю.В. Ефимов

ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет», 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, д. 37  
jak.55@mail.ru

Представлена сравнительная оценка эффективности систем машин на базе валочно-пакетирующей машины и харвестера, реализующих одинаковый конечный предмет труда — сортимент. Для сравнения выбраны машины с харвестерными агрегатами одного производителя с идентичными характеристиками. Показано, что при заготовке сортиментов эффективнее использовать харвестер, поскольку для него удельная энергоемкость заготовки конечного продукта — сортимента меньше на 20 % по сравнению с системой «валочно-пакетирующая машина + процессор». Проведено сравнение себестоимости заготовки и вывозка древесины для двух систем машин: первой — с низкой производительностью «харвестер — форвардер» и второй — с высокой «валочно-пакетирующая машина — скиддер — процессор». Выполнена оценка современных харвестерных агрегатов различных производителей по критериям удельной энергоемкости и удельной массы.

**Ключевые слова:** производительность, удельная энергоемкость, харвестер, валочно-пакетирующая машина, сучкорезно-раскряжевая машина, харвестерный агрегат

**Ссылка для цитирования:** Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. Оценка эффективности систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по фундаментальному критерию технолога — удельной энергоемкости // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 59–68. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-59-68

При выборе комплектов машин или харвестерных агрегатов для заготовки древесины технолог руководствуется фреймом технических характеристик, приводимых производителями. Однако множества этих данных не достаточно для обеспечения дальнейшей эксплуатации, эффективность которой оценивается по уровню минимизации эксплуатационных затрат. При этом значительную долю составляют затраты на расход энергии (топлива) и на увеличение мощности и производительности системы и харвестерного агрегата при заготовке древесины. Однако для сравнительных оценок различных систем и агрегатов в технических характеристиках отсутствует основной показатель технолога, учитывающий такие затраты. Это же следует и для удельной массы. Очевидно, что для сравнительной оценки эффективности двух систем машин при получении конечного состояния продукта — сортимента как основной можно принять критерий удельной энергоемкости ( $\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^3$  в виде свертки «отношение мощности ( $\text{кВт}$ ) к производительности ( $\text{м}^3/\text{ч}$ )» [1–4]. Аналогичное заключение применимо и для харвестерных агрегатов. Указанные критерий зависит в значительной степени от уровня техногенеза производителей, управляемой технологии заготовки древесины [5–8] и трансформируется в стоимостной эквивалент как существенная составляющая эксплуатационных затрат.

Значительная доля заготовок древесины в России осуществляется сортиментным способом

[6–10]. Для сортиментной заготовки в настоящее время широко используются следующие системы машин:

- харвестер — форвардер;
- валочно-пакетирующая машина (ВПМ) — скиддер — процессор.

Здесь не рассматривается сортиментная технология с применением моторного инструмента (его доля в общем объеме лесозаготовок составляет 44,9 % [9]) по причине несопоставимых критериев автоматизированных машинных систем и систем ручного труда.

### Цель работы

Цель работы — представление методики обоснованного выбора и сравнительной оценки систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по критериям удельных энергоемкости и массы.

### Материалы и методы

Выбор и сравнительная оценка систем машин и харвестерных агрегатов для заготовки древесины по критериям удельных энергоемкости и массы осуществляется по следующей методике.

Установленная мощность харвестерного агрегата и/или машины, системы машин ( $\text{кВт}$ ) определяется на основе расхода гидрожидкости ( $\text{л}/\text{мин}$ ) и давлению гидронасосов ( $\text{бар}$ ) по выражению

$$N = \frac{P_{\text{нас}} Q}{600\eta}, (\text{кВт}), \quad (1)$$

где  $P_{\text{нас}}$  — номинальное давление насоса, бар;  
 $Q$  — расход жидкости, л/мин;  
 $\eta$  — коэффициент подачи насоса (КПД) для гидравлического привода обычно находится в диапазоне 0,85–0,95.

Часовая производительность харвестера ( $\Pi_{\text{ч}}$ , м<sup>3</sup>/ч) определяется по конечному предмету труда — сортименту, исходя из данных от производителей о том, что в среднем опытный оператор проводит 60 операций в час.

Удельная энергоемкость харвестерного агрегата и/или машины, системы машин,  $g_s$ , (кВт·ч)/м<sup>3</sup>, определяется для конечного состояния предмета труда — сортимента по выражению [1]

$$g_s = \frac{N}{\Pi_{\text{ч}}}. \quad (2)$$

Удельная масса харвестерного агрегата и/или машины, системы машин,  $g_m$ , кг/м<sup>3</sup>, определяется по выражению:

$$g_m = \frac{M}{V_{\text{хл}}}, \quad (3)$$

где  $M$  — масса харвестерного агрегата и/или машины, системы машин, кг;  
 $V_{\text{хл}}$  — объем хлыста, м<sup>3</sup>.

Выражения (1)–(3) использованы для сравнительной оценки систем машин «харвестер — форвардер», ВПМ — скиддер — процессор». При сравнении использовались системы машин одного производителя — Tigercat [9, 11]. Базой для ВПМ и процессора служит гусеничная машина Tigercat 845D мощностью 210 кВт, для харвестера — колесная машина Tigercat 1185 мощностью 230 кВт. Харвестерные агрегаты для харвестера и процессора одинаковы — Tigercat 570. Остальные параметры выражений (1)–(3) приняты одинаковыми для сопоставимости. Удельная энергоемкость рассчитывалась по конечному состоянию предмета труда как отношение суммарной мощности машины и харвестерного агрегата к сменной производительности.

Объем хлыста для выражений (2) и (3) определялся в зависимости от максимального диаметра среза, представленного в технической характеристике харвестерного агрегата, на основе данных из работы [12].

Для представления связи между удельными показателями, рассмотренными выше, и их трансформации в стоимостной эквивалент как существенной составляющей эксплуатационных затрат и фактора эффективности той или иной системы машин использована типовая методика калькуляции эксплуатационных затрат [13, 14].

## Результаты и обсуждение

Существующие дискуссии в промышленности определяются антагонистическими утверждениями об эффективности систем либо на базе харвестера, либо на базе системы «ВПМ — процессор». Для снятия противоречий рекомендуется использовать представленную методику для системы машин одного производителя — Tigercat при прочих идентичных условиях (табл. 1).

Анализ данных табл. 1 показывает, что при заготовке сортиментов эффективнее использовать харвестер. Его удельная энергоемкость при этом меньше на 20,3 % по сравнению с системой машин «ВПМ + процессор» при прочих равных условиях.

К настоящему времени сложилась ситуация, когда зафиксировано производство значительного множества харвестерных агрегатов различными производителями, с одной стороны, и гусеничных и колесных манипуляторных баз — с другой, на которые они навешиваются, причем не только харвестерные агрегаты, но и другие. Например, захватно-срезающие устройства для валки-пакетирования деревьев, агрегаты для сбора и пакетирования лесосечных отходов, древокольные агрегаты, агрегаты для продольного пиления древесины, агрегаты для производства щепы различного назначения, мульчеры, рыхлители и другие агрегаты для обработки почв, выкопки и пересадки деревьев и подроста, кусторезы, ковши (экскаватор) и толкатели; погрузочные устройства для различных видов грузов, буровые агрегаты и перфораторы для обработки прочных и мерзлых грунтов; агрегаты для бурения; агрегаты для подачи бетона и иных строительных смесей или иных видов газообразных, жидких, сыпучих, кусковых продуктов, агрегаты для установки различных опор (столбов и пр.) и так далее.

В этой связи существует потребность в обоснованном выборе тех или иных агрегатов, в частности харвестерных, на основе сравнительной оценки их эксплуатационных показателей. В представленных официальных технических характеристиках производителей харвестерных агрегатов отсутствуют данные, определяющие эксплуатационные качества технологического процесса и реализующих его машин. Например, отсутствие одного из базовых показателей — удельной энергоемкости заготовки древесины установлено на основе анализа данных технических характеристик существующих харвестерных агрегатов [15, 16]. Для снятия этой неопределенности проведена сравнительная оценка современных харвестерных агрегатов различных производителей, которая реализована по выражениям (1)–(3) в рамках научно-исследовательских работ в целях создания отечественного харвестера

на базе экскаваторов с ОАО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения» научно-производственной корпорации «Уралвагонзавод». Данные для расчетов представлены официальным дилером «Комек Машинери» ком-

пании «Комацу» или заимствованы с официальных сайтов производителей. Установленная мощность харвестерного агрегата (кВт) рассчитана по расходу гидрожидкости (л/мин) и давлению гидроприводов (бар) (табл. 2).

Т а б л и ц а 1

**Сравнительная оценка системы «валочно-пакетирующая машина + процессор» с харвестером по критерию удельной энергоёмкости**

**Comparative evaluation of the machine system Feller Buncher + processor with a harvester according to the specific energy criterion**

Характеристика	Валочно-пакетирующая машина (feller buncher) Tigercat-845D + валочная головка Tigercat 2000	Процессор Tigercat H845D + харвестерный агрегат Tigercat 570	Харвестер Tigercat 1185 + харвестерный агрегат Tigercat 570
Мощность двигателя, кВт	210	210	230
Мощность агрегата, кВт	135	200	200
Суммарная мощность, кВт	755		430
Масса агрегата, кг	2740	2450	2450
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	43	35	25
Удельная энергоёмкость по конечному продукту, (кВт·ч)/м <sup>3</sup>	21,57		17,2

Т а б л и ц а 2

**Сравнительная оценка харвестерных агрегатов различных производителей**

**Comparative evaluation of harvesting heads of various manufacturers**

Производитель	Модель	Типоразмер		Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Удельные величины		Производительность, м <sup>3</sup> /ч
		по объёму хлыста, м <sup>3</sup>	по диаметру распила, см			масса, кг/м <sup>3</sup>	энергоёмкость, кВт·ч/м <sup>3</sup>	
PONSSE	H5	0,269	53	100	900	3345,72	6,20	16,14
	H6	0,351	60	140	1050	2991,45	6,65	21,06
	H7	0,42	65	140	1150	2738,10	5,56	25,2
	H7 euca	0,42	65	140	1200	2857,14	5,56	25,2
	H8	0,65	78	140	1250	1923,08	3,59 В среднем 5,34	39
KOMATSU	S92	0,394	63	110	951	2413,71	4,65	23,64
	C93	0,351	60	110	970	2763,53	5,22	21,06
	360.2	0,424	65	120	1245	2936,32	4,72	25,44
	C123	0,424	65	140	1240	2924,53	5,50	25,44
	S132	0,386	62,5	140	1364	3533,68	6,04	23,16
	370.2	0,351	60	150	1470	4188,03	7,12	21,06
	C144	0,592	75	160	1400	2364,86	4,50	35,52
	S172	0,592	75	150	1675	2829,39	4,22	35,52
	<b>370E*</b>	0,351	60	140	1600	4558,40	6,65 В среднем 5,40	21,06

Продолжение табл. 2

Производитель	Модель	Типоразмер		Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Удельные величины		Производительность, м <sup>3</sup> /ч
		по объему хлыста, м <sup>3</sup>	по диаметру распила, см			масса, кг/м <sup>3</sup>	энергоёмкость, кВт·ч/м <sup>3</sup>	
KESLA	16RH	0,179	45	80	445	2486,03	7,45	10,74
	<b>16RHS</b>	0,179	45	65	445	2486,03	6,05	10,74
	18RH	0,179	45	80	450	2513,97	7,45	10,74
	<b>18RHS</b>	0,179	45	60	450	2513,97	5,59	10,74
	25RH	0,455	67	100	790	1736,26	3,66	27,3
	<b>25RHS</b>	0,455	67	85	790	1736,26	3,11	27,3
	28RH	0,455	67	150	1280	2813,19	5,49	27,3
	<b>28RHS</b>	0,455	67	130	1280	2813,19	4,76	27,3
	30RH	0,455	67	150	1400	3076,92	5,49	27,3
	<b>30RHS</b>	0,455	67	130	1400	3076,92	4,76	27,3
	<b>20SH</b>	0,179	45	44	520	2905,03	4,10	10,74
	<b>25SH</b>	0,455	67	75	880	1934,07	2,75 В среднем 5,05	27,3
LOG MAX	928A	0,152	42	50	424	2789,47	5,48	9,12
	4000B	0,225	50	95	666	2960,00	7,04	13,5
	5000D	0,311	57	95	895	2877,81	5,09	18,66
	6000B	0,424	65	130	1385	3266,51	5,11	25,44
	6000Twin	0,424	65	130	1593	3757,08	5,11	25,44
	7000C	0,424	65	160	1708	4028,30	6,29	25,44
	<b>7000 XT</b>	0,424	65	200	2022	4768,87	7,86	25,44
	<b>10000XT</b>	0,71	81	220	3078	4335,21	5,16	42,6
	<b>12000XT</b>	0,885	89	230	4466	5046,33	4,33 В среднем 5,72	53,1
WARATAH	H270 Series II	0,424	65	160	1350	3183,96	6,29	25,44
	H290	0,592	75	175	1970	3327,70	4,93	35,52
	H215E	0,286	55	150	1690	5909,09	8,74	17,16
	HTH250HD	0,311	57	130	950	3054,66	6,97	18,66
	H414	0,379	62	135	1030	2717,68	5,94	22,74
	HTH460	0,592	75	135	820	1385,14	3,80	35,52
	H480C	0,521	71	160	1240	2380,04	5,12	31,26
	<b>HTH622B</b>	0,592	75	195	2120	3581,08	5,49 В среднем 5,91	35,52

О к о н ч а н и е т а б л . 2

Производитель	Модель	Типоразмер		Установленная мощность, кВт	Масса, кг	Удельные величины		Производительность, м <sup>3</sup> /ч
		по объему хлыста, м <sup>3</sup>	по диаметру распила, см			масса, кг/м <sup>3</sup>	энергоёмкость, кВт·ч/м <sup>3</sup>	
SILVATEC	235 MD35	0,179	45	50	615	3435,75	4,66	10,74
	335 MD40	0,225	50	60	862	3831,11	4,44	13,5
	450	0,286	55	145	1024	3580,42	8,45	17,16
	<b>560</b>	0,394	63	145	1350	3426,40	6,13	23,64
	665 MD 70	0,689	80	180	1600	2322,21	4,35 В среднем 5,61	41,34
JOHN DEERE	H412	0,179	47	120	733	4094,97	11,17	10,74
	H414	0,379	62	135	1030	2717,68	5,94	22,74
	H480C	0,521	71	160	1240	2380,04	5,12	31,26
	H758HD	0,311	57	130	950	3054,66	6,97	18,66
	H754	0,592	75	135	820	1385,14	3,80	35,52
AFM-Forest Ltd	AFM 35	0,136	40	85	650	4779,41	10,42	8,16
	AFM 45	0,424	65	100	965	2275,94	3,93	25,44
	AFM 55	0,592	75	130	1090	1841,22	3,66	35,52
ОАО УКБТМ УВЗ**	X450	0,592	75	155	1350	2280,41	4,36	35,52
	X500	0,817	86	185	1620	1982,86	3,77	49,02
	X600	1,006	94	185	1980	1968,19	3,06 В среднем 3,73	60,36
	В600 (валочная)	0,908	90	135	1400	1541,85	2,48	54,48

*Примечание.* Жирным шрифтом помечены харвестерные агрегаты для экскаватора; звездочкой — производство «Уральского конструкторского бюро транспортного машиностроения (г. Нижний Тагил)

Анализ данных табл. 2 приводит к выводу, что удельная энергоёмкость существенно различается у разных производителей и в рамках отдельно взятого производителя. Однако прослеживается следующая тенденция: с увеличением объема хлыста уменьшается удельная энергоёмкость, т. е. энергоэффективность становится выше. Наибольшую энергоёмкость имеет харвестерный агрегат H412 фирмы JOHN DEERE (11,17 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>), наименьшую — агрегат 25SH фирмы KESLA (2,75 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>) (рис. 1). Оценка по средним значениям удельной энергоёмкости имеющихся агрегатов ранжирует производителей по возрастанию (см. табл. 2).

Удельная масса харвестерного агрегата характеризует уровень техногенеза производителя: чем она меньше, тем рациональнее конструкция и материалы. Удельная масса, так же, как и удель-

ная энергоёмкость, зависит от объема хлыста. Из диаграммы (рис. 2) видно, что рациональностью отличается конструкция агрегатов от производителя LOG MAX. Высокие значения удельной массы имеют следующие агрегаты: H215E фирмы WARATAN, 450 — SILVATEC, H412 — JOHN DEERE, AFM 35 — AFM-Forest Ltd.

В сентябре 2018 г., в рамках ежегодной международной выставки GRAND EXPO URAL (г. Екатеринбург), ОАО «Уральское конструкторское бюро транспортного машиностроения» экспонировался опытный образец российского харвестера, произведенного на базе серийного экскаватора ЭО-41211. Харвестер комплектуется тремя харвестерными агрегатами (X450, X500, X600) и одной валочной головкой — В600. Судя по показателям удельной энергоёмкости и удельной массе, ОАО «Уральское конструкторское бюро

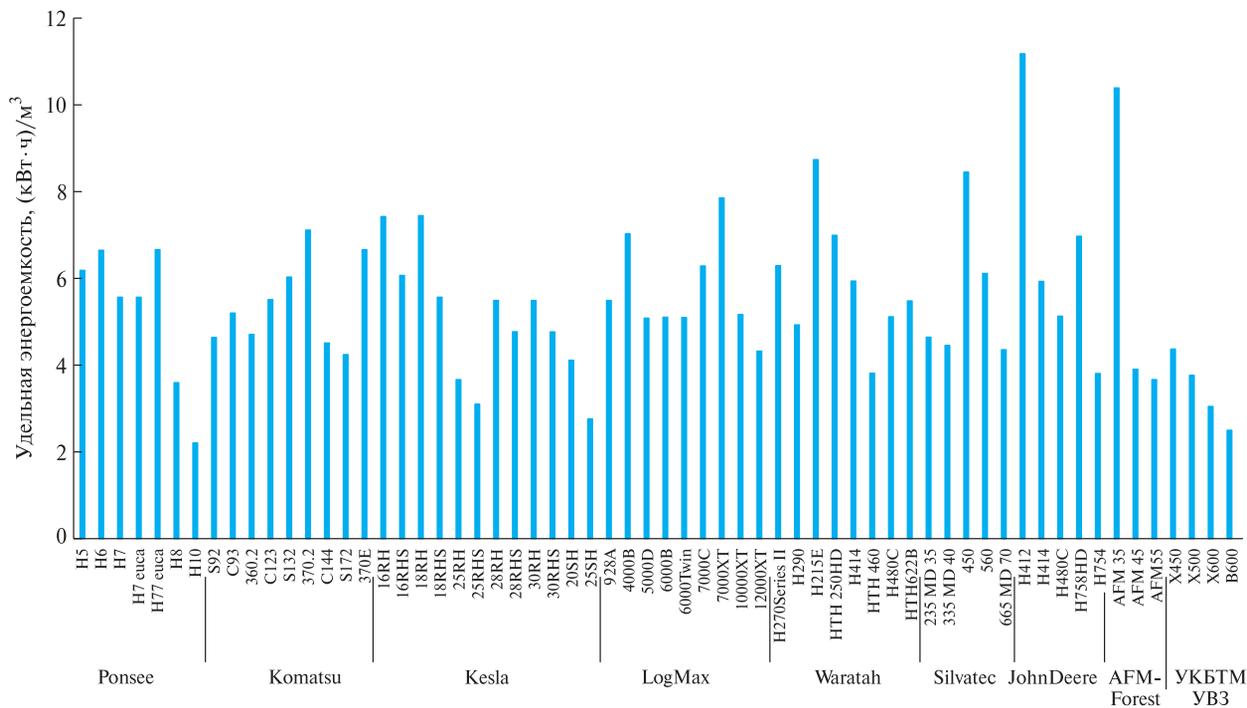


Рис.1. Диаграмма удельной энергоёмкости харвестерных агрегатов различных моделей  
 Fig. 1. Energy-specific diagram of harvesting heads of various models

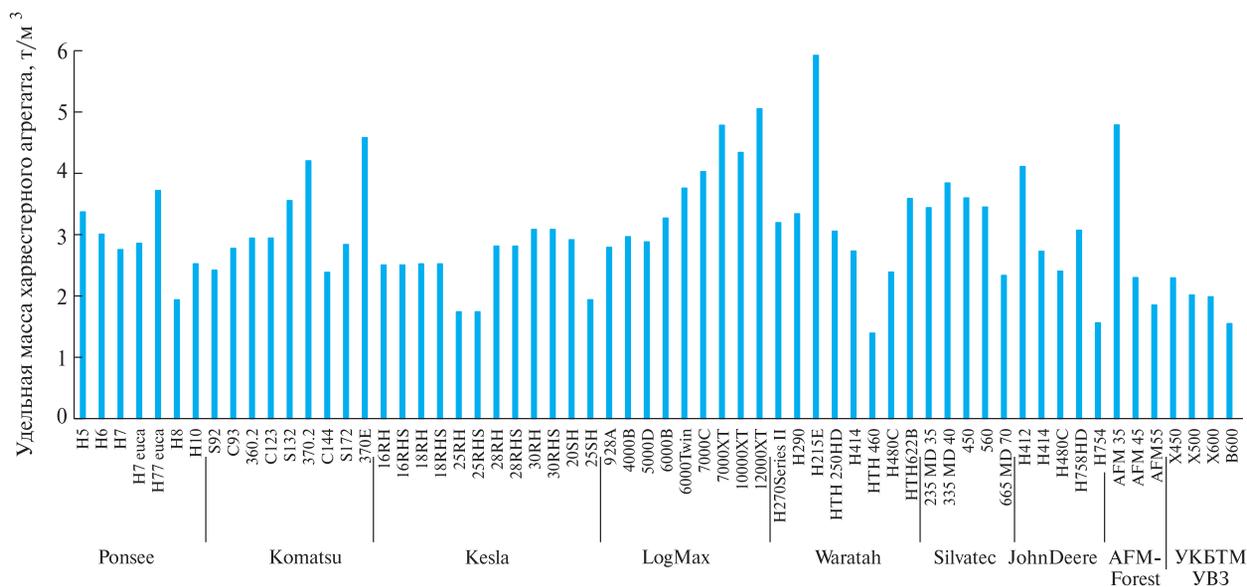


Рис. 2. Диаграмма удельной массы харвестерного агрегата различных моделей  
 Fig. 2. The diagram of the specific gravity of the harvesting head of various models

транспортного машиностроения» оптимально оснащает производимую им базовую машину навесным оборудованием.

Зависимость трансформации удельной энергоёмкости в стоимостной эквивалент — себестоимость подтверждена на основе исследования, проведенного на примере стратегии развития лесопромышленного комплекса ООО «Алмас» Республики Саха (Якутия) [17]. В этой работе

рассмотрены два альтернативных варианта технологии сортиментной заготовки древесины на базе систем машин: «харвестер — форвардер» и «ВПМ — скиддер — процессор», две технологические схемы разработки лесосеки для каждой из систем машин: одна без сохранения подроста, другая — с сохранением. В качестве рекомендованной технологии была предложена запатентованная технология заготовки сортиментов

с сохранением подроста и деревьев, оставляемых на доращивание. Ранее эта технология была экспериментально проверена в условиях арендных участков ОАО «Соликамскбумпром» [18–21]. Для каждого из варианта рассчитаны себестоимость заготовки и вывозка древесины по методике, представленной в работах [13, 14].

Результаты получены для существующих норм и таксационных характеристик предприятия:

Годовой объем заготовки, тыс. м <sup>3</sup> .....	300
Средний объем хлыста, м <sup>3</sup> .....	0,4
Ликвидный запас леса, м <sup>3</sup> /га.....	130
Расстояние вывозки древесины, км.....	120

Себестоимость заготовки и вывозка древесины по двум альтернативным вариантам составляет [17]:

Система машин «харвестер — форвардер», руб. за 1 м <sup>3</sup> .....	733,18
«ВПМ — скиддер — процессор», руб. за 1 м <sup>3</sup> .....	733,61

Отсюда следует, что себестоимость заготовки и вывозка древесины по двум альтернативным вариантам практически одинакова, что обусловлено более низкой производительностью первого комплекта и существенной стоимостью второго.

При внедрении предложенной технологии также выявлены следующие преимущества:

- сохранность подроста и деревьев, оставляемых на доращивание, обеспечена в объеме 96 %;
- полная сохранность почвогрунтов вне технологических коридоров, а также частично на волоках (трелевка древесины выполняется по слою порубочных остатков, сконцентрированных на волоке);
- сбор и доставка на погрузочный пункт порубочных остатков, полностью сконцентрированных на волоке при запатентованной технологии и частично на волоке, частично на лентах при стандартной технологии, выполняются форвардером по окончании разработки пасаки (производительность системы при этом не снижается в связи с более высокой производительностью форвардеров в комплекте).

Повышение эффективности систем машин «харвестер — форвардер» при сортиментной заготовке древесины обеспечивается такими видами интенсификации [5], как следующие методы управления:

- способами и приемами работы харвестера;
- технологическими схемами посредством изменения факторов, влияющих на снижение удельной энергоёмкости для различных по характеристикам лесосек;
- комплектованием системы машин «харвестер — форвардер» в целях синхронизации с помощью параметрической оптимизации;
- распределением операции сортировки между харвестером и форвардером в системе.

## Выводы

Представленная инженерная методика позволяет выполнять обоснованный выбор систем машин и харвестерных агрегатов по критерию удельной энергоёмкости для предприятия по заготовке древесины.

Сравнительная оценка систем машин «харвестер — форвардер», «ВПМ — скиддер — процессор» одного производителя Tigercat при сопоставимых условиях по критерию удельной энергоёмкости показала, что эффективность первой системы выше на 20,3 %, т. е. для сортиментной заготовки древесины использование системы машин «харвестер — форвардер» предпочтительнее.

Удельная энергоёмкость харвестерных агрегатов существенно различается по производителям и в рамках отдельно взятого производителя. Наибольшую энергоёмкость имеет харвестерный агрегат H412 фирмы JOHN DEERE (11,17 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>), наименьшую — агрегат 25SH фирмы KESLA (2,75 (кВт·ч)/м<sup>3</sup>). Представленные результаты могут быть использованы для рационального выбора харвестерного агрегата.

Удельная масса харвестерного агрегата характеризует уровень техногенеза производителя: чем она меньше, тем более рациональны конструкция и материалы. Этот критерий определил оптимальную конструкцию от производителя LOG MAX. Наибольшие значения удельной массы имеют агрегаты: H215E фирмы WARATAN, 450 — SILVATEC, H412 — JOHN DEERE, AFM 35 — AFM-Forest Ltd.

## Список литературы

- [1] Якимович С.Б. Теория синтеза оптимальных процессов: проектирование систем заготовки и обработки древесины и управление ими. Пермь: Пермская ГСХА, 2006. 249 с.
- [2] Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. Возможности снижения удельной энергоёмкости при производстве пиломатериалов на лесосеке // Сб. науч. тр. по итогам междунар. науч.-техн. конф. «Актуальные проблемы лесного комплекса», Брянск, БГИТА / под ред. Е.А. Памфилова, 2009. Вып. 22. С. 227–228.
- [3] Якимович С.Б., Полукаров М.В. Оценка резервов эксплуатационных затрат систем машин заготовки древесины «харвестер — форвардер» // Материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «Умник» «Научное творчество молодежи — лесному комплексу России». Екатеринбург: УГЛУ, 2017. С. 23–25.
- [4] Ефимов Ю.В. Оценка эффективности лесопиления в условиях лесосеки по критерию удельной энергоёмкости // Отраслевые аспекты технических наук, 2012. № 12. С. 67–70.
- [5] Якимович С.Б., Медовщиков В.Ф., Тетерина М.А. Способы интенсификации заготовки древесины (на примере системы «харвестер-форвардер») // Материалы IV Всерос. отраслевой науч.-практ. конф. «Ин-

- новации — основа развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности». Пермь: ПНИПУ, 2016. С. 90–101.
- [6] Падласов П.А. К вопросу о снижении удельной энергоёмкости производственного процесса заготовки древесины по сортиментной технологии // Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, 2014. Т. 4. С. 225–226.
- [7] Скурихин В.И., Корпачев В.П. Обоснование выбора технологии и машинных комплексов на лесосечных работах // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2007. № 1. С. 203–209.
- [8] Santos D.W.F.N., Fernandes H.C., Valente D.S.M., Leite E.S. Analyze technical and economic of two subsystems of forest harvesting of cut to length // Revista brasileira de ciencias agrarias-agraria, 2018, v. 13, n. 2, p. 5516. DOI:10.5039/agraria.v13i2a5516.
- [9] Zaprudnov V.I., Sanaev V.G., Karpachev S.P., Levushkin D., Gorbacheva G. The influence of chemical additives on strength of wood-cement composite // Materials Science Forum, 2019, t. 972, pp. 69–76.
- [10] Кондратюк Д.В. Парк лесосечных машин и особенности их эксплуатации // Актуальные проблемы лесного комплекса, 2012. № 32. С. 17–22.
- [11] Рябухин П.Б., Рябухин А.П. Как повысить эффективность эксплуатации лесозаготовительных машин // Философия современного природопользования в бассейне реки Амур. Хабаровск: Тихоокеанский государственный ун-т, 2018. С. 11–15.
- [12] Редькин А.К., Якимович С.Б. Математическое моделирование и оптимизация технологий лесозаготовок. М.: МГУЛ, 2005. 504 с.
- [13] Методические рекомендации (инструкция) по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции лесопромышленного комплекса. М.: МГУЛ, 2003. 213 с.
- [14] Герасимов Ю.Ю., Сибиряков К.Н., Мошков С.Л., Вялькю Э., Карвинен С. Расчет эксплуатационных затрат лесосечных машин. Йоенсуу: Научно-исследовательский институт леса Финляндии, 2009. 44 с.
- [15] Якимович С.Б., Ефимов Ю.В. Оценка удельной энергоёмкости заготовки сортиментов системами машин и харвестерных агрегатов различных производителей // Инновации — основа развития целлюлозно-бумажной и деревообрабатывающей промышленности. Екатеринбург: УГЛТУ, 2018. С. 239–243.
- [16] Григорьев И.В., Григорьева О.И. Лесозаготовительные машины на экскаваторной базе // Повышение эффективности лесного комплекса. Петрозаводск: ПГУ, 2018. С. 45–46.
- [17] Управление лесопромышленным бизнесом на основе стратегического планирования освоения лесных ресурсов региона (на примере стратегии развития лесопромышленного комплекса ООО «Алмаз» Республики Саха (Якутия)) / под ред. А.В. Мехренцева. Екатеринбург: УГЛТУ, 2016. 256 с.
- [18] Якимович С.Б., Тетерина М.А. Синхронизация обрабатывающе-транспортных систем заготовки и первичной обработки древесины. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. 201 с.
- [19] Якимович С.Б., Груздев В.В., Крюков В.Н., Тетерина М.А. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа. Пат. на изобретение 2365093 Российская Федерация, МПК А01G23/02. / (RU). № 2008107195/12; заявл. 26.02.07; опубл. 27.08.2009. Бюл. № 24. 2 с.
- [20] Якимович С.Б., Груздев В.В., Свириденков А.Н., Тетерина М.А., Минай А.Я., Столяров А.М. Способ заготовки сортиментов машиной манипуляторного типа с сохранением молодняка. Пат. на изобретение 2467559 Российская Федерация, МПК А01G23/02. / (RU). № 2011125457/13; заявл. 20.06.2011; опубл. 27.11.2012. Бюл. № 33. 3 с.
- [21] Якимович С.Б., Тетерина М.А. Оценка энергоэффективности и экологичности нового способа заготовки и обработки древесины харвестером на основе промышленной апробации // Вестник Казанского технологического университета, 2013. Т. 16. № 24. С. 40–44.

## Сведения об авторах

**Якимович Сергей Борисович** — д-р техн. наук, зав. кафедрой технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета, jak.55@mail.ru

**Ефимов Юрий Валерьевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры технологии и оборудования лесопромышленного производства Уральского государственного лесотехнического университета, yura\_efimov.83@mail.ru

Поступила в редакцию 13.06.2019.

Принята к публикации 19.11.2019.

## ESTIMATION OF MACHINERY AND HARVESTING HEADS EFFICIENCY SYSTEMS FOR PREPARATION OF WOOD BY FUNDAMENTAL CRITERIA TECHNOLOGY — SPECIAL STORAGE DENSITY

S.B. Yakimovich, Yu.V. Efimov

Ural State Forest Engineering University (USFEU), 37, Siberian tract st., 620100, Yekaterinburg, Russia

[jak.55@mail.ru](mailto:jak.55@mail.ru)

A comparative assessment of the machine systems efficiency based on the feller buncher and on the basis of the harvester, implementing the same final state of the object of labor the assortment is presented. Machines with harvester aggregates of the same manufacturer with identical characteristics were selected for comparison. It has been shown that it is more efficient to use a harvester when harvesting shortwood, since its specific energy consumption of the final product procurement the shortwood is less than 20 % compared with the feller buncher + processor machine system. A cost comparison was made for harvesting and hauling wood for the two systems of machines, the first with a lower productivity «harvester — forwarder» and the second with a higher «feller buncher — skidder — processor». The evaluation of modern harvester aggregates of various manufacturers according to the criteria of specific energy intensity, kW·h / m<sup>3</sup> and specific gravity, kg / m<sup>3</sup> was given. The H412 unit of JOHN DEERE (11,17 kW·h / m<sup>3</sup>) has the highest energy consumption, the smallest — the 25SH unit of KESLA (2,75 kW·h / m<sup>3</sup>). The most rational mass of the harvester unit is used by the manufacturer LOG MAX. The volume of the whip has the greatest influence on the parameters of specific characteristics. The results were obtained on the basis of data provided by customers, official dealers (Komek, Yekaterinburg) or taken from the manufacturers' sites when performing research work on the creation of a domestic harvester together with Uralskoye Transportation Engineering Bureau (UralVagon Plant, Nizhny Tagil) and OOO Almas of the Republic of Sakha (Yakutia).

**Keywords:** performance, specific energy consumption, harvester, feller buncher, processor, harvesting head

**Suggested citation:** Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. *Otsenka effektivnosti sistem mashin i kharvesternykh agregatov dlya zagotovki drevesiny po fundamental'nomu kriteriyu tekhnologa — udel'noy energoemkosti* [Estimation of machinery and harvesting heads efficiency systems for preparation of wood by fundamental criteria technology — special storage density]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 59–68.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-59-68

### References

- [1] Yakimovich S.B. *Teoriya sinteza optimal'nykh protsessov: proektirovanie sistem zagotovki i obrabotki drevesiny i upravlenie imi* [The theory of synthesis of optimal processes: design of wood harvesting and processing systems and their management]. Perm', Permskaya GSKhA, 2006, 249 p.
- [2] Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. *Vozможности snizheniya udel'noy energoemkosti pri proizvodstve pilomaterialov na leseke* [The possibility of reducing the specific energy consumption in the production of sawn materials in the cutting area] *Sbornik nauchnykh trudov po itogam mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa»* [Collection of scientific papers based on the results of the international scientific and technical conference «Actual problems of the forest complex»]. Ed. E.A. Pamfilova. Bryansk, v. 22, 2009, pp. 227–228.
- [3] Yakimovich S.B., Polukarov M.V. *Otsenka rezervov ekspluatatsionnykh zatrat sistem mashin zagotovki drevesiny «kharvester — forwarder»* [Reserves estimation operating cost of machine systems timber «harvester — forwarder»] *Materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov i konkursa po programme «Umnik» «Nauchnoe tvorchestvo molodezhi — lesnomu kompleksu Rossii»* [Materials of the XIII All-Russian Scientific and Technical Conference of Students and Postgraduates and the competition for the program «Clever Man» Scientific Work of Youth — the Forestry Complex of Russia]. Yekaterinburg: Ural State Technical University, 2017, pp. 23-25.
- [4] Efimov Yu.V. *Otsenka effektivnosti lesopileniya v usloviyakh leseki po kriteriyu udel'noy energoemkosti* [Evaluating the effectiveness of lumbering in cutting area by specific energy] *Otraslevye aspekty tekhnicheskikh nauk* [Sectoral aspects of technical sciences], 2012, v. 12, pp. 67–70.
- [5] Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. *Otsenka udel'noy energoemkosti zagotovki sortimentov sistemami mashin i kharvesternykh agregatov razlichnykh proizvoditeley* [Methods of intensification of wood harvesting (for example, the «harvester — forwarder» system)] *Materialy VI Vserossiyskoy otraslevoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Innovatsii — osnova razvitiya tselyulozno-bumazhnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti»* [Materials of the IV All-Russian industrial scientific-practical conference «Innovation — the basis for the development of pulp and paper and woodworking industry»]. Perm: PNIPU, 2016, pp. 90–101.
- [6] Padlasov P.A. *K voprosu o snizhenii udel'noy energoemkosti proizvodstvennogo protsessa zagotovki drevesiny po sortimentnoy tekhnologii* [On the issue of reducing the specific energy consumption of the production process of timber harvesting by assortment technology] *Vestnik Nizhegorodskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* [Bulletin of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy], 2014, v. 4, pp. 225–226.
- [7] Skurikhin V.I. *Korpachev V.P. Obosnovanie vybora tekhnologii i mashinnykh kompleksov na lesechnykh rabotakh* [Justification of the choice of technology and machine complexes for logging operations] *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Krasnoyarsk State Agrarian University], 2007, no. 1, pp. 203–209.
- [8] Santos D.W.F.N., Fernandes H.C., Valente D.S.M., Leite E.S. *Analyze technical and economic of two subsystems of forest harvesting of cut to length // Revista brasileira de ciencias agrarias-agraria*, 2018, v. 13, n. 2, p. 5516.  
DOI: 10.5039/agraria.v13i2a5516

- [9] Zaprudnov V.I., Sanaev V.G., Karpachev S.P., Levushkin D., Gorbacheva G. The influence of chemical additives on strength of wood-cement composite. *Materials Science Forum*, 2019, t. 972, pp. 69–76.
- [10] Kondratyuk D.V. *Park lesosechnykh mashin i osobennosti ikh ekspluatatsii* [Park logging machines and features of their operation] Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of the forest complex], 2012, no. 32, pp. 17–22.
- [11] Ryabukhin P.B., Ryabukhin A.P. *Kak povysit' effektivnost' ekspluatatsii lesozagotovitel'nykh mashin* [How to increase the efficiency of operation of forest machines] *Filosofiya sovremennogo prirodopol'zovaniya v bassejne reki AMUR* [Materials of the VII International scientific-practical conference «Philosophy of modern nature management in the AMUR river basin»]. Khabarovsk: Pacific State University, 2018, pp. 11–15.
- [12] 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.
- [13] *Metodicheskie rekomendatsii (instruktsiya) po planirovaniyu, uchetu i kal'kulirovaniyu sebestoimosti produktsii lesopromyshlennogo kompleksa* [Methodical recommendations (instructions) for planning, accounting and calculating the cost of production of forest industry complex]. Moscow: MGUL, 2003, 213 p.
- [14] Gerasimov Yu. Yu., Sibiryakov K.N., Moshkov S.L., Vyal'kkyu E., Karvinen S. *Raschet ekspluatatsionnykh zatrat lesosechnykh mashin* [Calculation of operating costs of logging machines]. Joensuu: Finnish Forest Research Institute, 2009, 44 p.
- [15] Yakimovich S.B., Efimov Yu.V. *Otsenka udel'noy energoemkosti zagotovki sortimentov sistemami mashin i kharvesternykh agregatov razlichnykh proizvoditeley* [Estimation of the specific energy consumption of harvesting assortments by systems of machines and harvester aggregates of various manufacturers]. *Innovatsii — osnova razvitiya tsellyulozno-bumazhnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Innovation is the basis for the development of the pulp and paper and woodworking industry]. Ekaterinburg: Ural State Technical University, 2018, pp. 239–243.
- [16] Grigor'ev I.V., Grigor'eva O.I. *Lesozagotovitel'nye mashiny na ekskavatornoy baze* [Excavator based logging machines]. Improving the Efficiency of the Forest Complex [Improving the Efficiency of the Forest Complex]. Petrozavodsk, 2018, pp. 45–46.
- [17] *Upravlenie lesopromyshlennym biznesom na osnove strategicheskogo planirovaniya osvoeniya lesnykh resursov regiona (na primere strategii razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa OOO «Almas» Respubliki Sakha (Yakutiya))* [Management of the timber industry business based on the strategic planning of forest resources development in the region (on the example of the development strategy of the timber industry complex of Almas LLC of the Sakha Republic (Yakutia))]. Ekaterinburg: USFEU, 2016, 256 p.
- [18] Yakimovich S.B., Teterina M.A. *Sinkhronizatsiya obrabatyvayushche-transportnykh sistem zagotovki i pervichnoy obrabotki drevesiny* [Synchronization of processing and transport systems for harvesting and primary wood processing]. Yoshkar-Ola: MarSTU, 2011, 201 p.
- [19] Yakimovich S.B., Gruzdev V.V., Kryukov V.N., Teterina M.A. *Sposob zagotovki sortimentov mashinoy manipulyatornogo tipa* [The method of harvesting assortments machine manipulator type]. Pat. for the invention 2365093 Russian Federation, IPC A01G23 / 02. / (RU). No. 2008107195/12; declared 02/26/07; publ. 08/27/2009. Bull. No. 24. 2 p.
- [20] Yakimovich S.B., Gruzdev V.V., Sviridenkov A.N., Teterina M.A., Minay A.Ya., Stolyarov A.M. *Sposob zagotovki sortimentov mashinoy manipulyatornogo tipa s sokhraneniem molodnyaka* [Method of harvesting assortments with a manipulator-type machine with the preservation of young animals]. Pat. for invention 2467559 Russian Federation, IPC A01G23 / 02. / (RU). No. 2011125457/13; declared 06/20/2011; publ. 11/27/2012. Bull. No. 33. 3 p.
- [21] Yakimovich S.B., Teterina M.A. *Otsenka energoeffektivnosti i ekologichnosti novogo sposoba zagotovki i obrabotki drevesiny kharvesterom na osnove promyshlennoy aprobatsii* [Evaluation of energy efficiency and environmental friendliness of a new method of harvesting and processing wood using a harvester based on industrial testing]. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Kazan Technological University], 2013, v. 16, no. 24, pp. 40–44.

## Authors' information

**Yakimovich Sergey Borisovich** — Dr. Sci. (Tech.), Head of the Department of Technology and Equipment for Timber Industry, Ural State Forest Engineering University, jak.55@mail.ru

**Efimov Yuriy Valer'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department of Technology and Equipment for Timber Industry, Ural State Forest Engineering University, yura\_efimov.83@mail.ru

Received 13.06.2019.

Accepted for publication 19.11.2019.

УДК 674.037.4

DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-69-73

## ИМПУЛЬСНАЯ СУШКА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ КЛЕНА ТОЛЩИНОЙ 50 ММ В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Г.Н. Курьшов<sup>1</sup>, А.А. Косарин<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>ООО «Форсклад», 121359, г. Москва, Партизанская улица, д. 40

kosarin2008@yandex.ru

Приведен обзор литературных источников по режимам и параметрам сушки пиломатериалов из древесины клена толщиной 50 мм. Указаны режимы сушки, которые зависят от текущей влажности пиломатериалов и отличаются начальной и конечной температурой агента сушки, а также степенью насыщенности на начальном и конечном этапах процесса сушки. Процесс сушки в разных источниках включает в себя от 3 до 8 ступеней. Дано краткое описание импульсной сушки древесины, причем первые импульсные сушки пиломатериалов из древесины клена начались в 1996 г на ООО «Интар» (Москва) на модернизированной сушильной камере «Урал-72» с поперечно-горизонтальной циркуляцией агента сушки, а контроль за влажностью древесины и внутренними напряжениями в процессе сушки осуществлялся методом контрольных образцов. Начальная влажность древесины определялась в соответствии с ГОСТ 16588–91. Применение импульсных режимов при сушке клена позволяет снизить потребление электроэнергии до 60 %.

**Ключевые слова:** пиломатериал из древесины клена, импульсная сушка, режимы сушки

**Ссылка для цитирования:** Курьшов Г.Н., Косарин А.А. Импульсная сушка пиломатериалов из древесины клена толщиной 50 мм в конвективных сушильных камерах // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 69–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-69-73

**К**лен (*Aser*) — представитель рода листопадных деревьев и кустарников семейства кленовых. Характеризуется следующими параметрами:

Высота дерева, м ..... 30–40

Диаметр ствола, см ..... 100–150

Продолжительность жизни, лет ..... 150...200

Крона клена — густая округло-цилиндрическая. Клен произрастает в различных климатических условиях. Корневая система включает в себя поверхностные горизонтальные корни. Цветки — желтовато-зеленые, обоеполые или раздельнополые, распускаются ранней весной до или одновременно с появлением листьев. Опыление осуществляется с помощью насекомых или ветра. Клен произрастает в Евразии, Северной Африке, Северной и Центральной Америке, всего — 150 видов. В России насчитывается 25 видов в европейской части страны, на Кавказе, Дальнем Востоке, в горах Средней Азии [1–3].

### Цель работы

Цель работы — разработка технологии импульсной сушки пиломатериалов из древесины клена в конвективных сушильных камерах.

### Материалы и методы исследования

Клен — безъядровая порода. Его древесина — блестящая, белая, или же с красноватым или буроватым оттенком. Годичные слои заметны на всех разрезах, а на поперечном выделяются узкой темной полоской. Сердцевинные лучи хорошо видны на радиальном разрезе в виде уз-

ких красноватых черточек, что дает древесине характерную рябоватость. Древесина клена обладает хорошими механическими свойствами, имеет красивую текстуру радиального разреза, поэтому применяется в мебельном производстве, производстве музыкальных инструментов и при изготовлении деталей машин [4–8].

Импульсная сушка пиломатериалов из древесины клена проводилась на ООО «Интар» (г. Москва) в период с апреля 1996 г. по октябрь 2002 г. в модернизированной аэродинамической сушильной камере. Модернизация заключалась в замене роторного вентилятора на два осевых и в установке блока трубчатых электронагревателей (ТЭН) общей мощностью 60 кВт.

Специально для использования импульсных режимов была разработана система автоматического управления на базе приборов, выпускаемых компанией «ОВЕН» (Москва) [5–14].

Необрезные кленовые пиломатериалы, подвергаемые сушке, имели следующие показатели:

Толщина, мм ..... от 50 до 60

Длина, м ..... от 4 до 4,5

Начальная влажность, % ..... от 63,9 до 80

Импульсная сушка включала в себя следующие технологические операции:

– прогрев пиломатериалов продолжительностью от 5 до 10 часов;

– многоступенчатую сушку — от 5 до 13 ступеней;

– кондиционирование в течение 9...12 ч.

Т а б л и ц а 1

**Трехступенчатый режим сушки пиломатериалов толщиной 50 мм из древесины клена**

Three-stage drying mode for lumber 50 mm thick from maple wood

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
Выше 30	52	3	84
30–20	55	5	76
Ниже 20	70	21	35

Т а б л и ц а 3

**Пятиступенчатый режим сушки пиломатериалов толщиной 50 мм из древесины клена**

Five-stage drying mode of lumber 50 mm thick from maple wood

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
Выше 35	56	3	84
35–25	59	5	77
25–20	63	6	74
20–15	69	11	58
Ниже 15	78	21	36

Т а б л и ц а 5

**Семиступенчатый режим сушки пиломатериалов толщиной 50 мм из древесины клена**

Seven-step drying mode of lumber 50 mm thick from maple wood

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
Выше 40	49	4	80
40–30	51	5	75
30–25	54	6	70
25–20	57	8	65
20–15	60	11	55
15–10	63	15	45
Ниже 10	65	21	30

Непосредственно процесс сушки характеризовался параметрами:

- Температура сушильного агента, °С ..... от 35 до 75
- Продолжительность стадий «работа», ч ..... от 1 до 3
- Продолжительность стадий «пауза», ч ..... от 1 до 4
- Продолжительность всего процесса, сут. .... от 20 до 46

Т а б л и ц а 2

**Трехступенчатый режим сушки пиломатериалов толщиной 50 мм из древесины клена**

Three-stage drying mode for lumber 50 mm thick from maple wood

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
Выше 30	57	3	85
30–20	61	6	74
Ниже 20	77	22	34

Т а б л и ц а 4

**Шестиступенчатый режим сушки пиломатериалов толщиной 50 мм из древесины клена**

Six-step drying mode of lumber 50 mm thick from maple wood

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
Выше 40	56	3,5	83
40–30	60	5	77
30–20	63	9	62
20–15	67	12	54
15–10	69	16	44
Ниже 10	71	22	31

Т а б л и ц а 6

**Восьмиступенчатый режим сушки пиломатериалов толщиной 50 мм из древесины клена**

Eight-stage drying of sawn timber 50 mm thick from maple wood

Влажность древесины, %	Температура агента сушки, °С	Психрометрическая разность, °С	Степень насыщенности, %
Выше 40	50	2,5	87
40–35	52	3	84
35–30	54	4	80
30–25	57	6	73
25–20	59	8	65
20–15	61	11	56
15–10	63	15	45
Ниже 10	66	20	33

В процессе импульсной сушки по специальным образцам контролировалась текущая влажность и величина сушильных напряжений в пиломатериале. Всего было высушено около 120 м<sup>3</sup> кленовых пиломатериалов по I и II категориям качества до конечной влажности 6,0...7,5 %. С 2005 по 2015 г. сушка импульсными режимами кленовых пиломатериалов проводилась в сушильных камерах учебно-производственных мастерских МГУЛ [15–19].

Т а б л и ц а 7

**Сводная таблица различий в режимах сушки пиломатериалов  
толщиной 50 мм из древесины клена**

Pivot table of differences in drying modes of sawn timber 50 mm thick from maple wood

Литературный источник	Температура агента сушки, °С		Степень насыщенности, %		Режим сушки	Сочетание пород
	Начальная	Конечная	Начальная	Конечная		
Серговский П.С. [12]	52	70	84	35	Трехступенчатый	Бук, клен
РТМ [13]	57	77	85	34	«»	«»
ГОСТ 19773–84 [14]	56	78	84	36	Пятиступенчатый	«»
Кречетов И.В. [18]	56	71	83	31	Шестиступенчатый	Бук, ясень, клен, лиственница
Справочник по сушке древесины [20]	49	65	8	3	Семиступенчатый	Бук, клен
Соколов П.В. [21]	50	66	87	33	Восьмиступенчатый	Бук, клен, лиственница

## Результаты и обсуждение

Физико-механические свойства древесины клена приведены в работах Л.М. Перельгина и Б.Н. Уголева [7, 8].

В отечественной и зарубежной литературе по технологии камерной сушки древесины клена рассматриваются режимы, отличающиеся уровнем температуры, относительной влажности агента сушки, количеством ступеней сушки и сочетанием с разными породами древесины (табл. 6).

П.С. Серговский [12] представляет трехступенчатый режим сушки пиломатериалов из древесины клена толщиной 50 мм (табл. 1).

В руководящих технических материалах по технологии камерной сушки пиломатериалов приводится трехступенчатый режим сушки клена, отличающийся от предыдущего [13] (табл. 2).

Пятиступенчатое изменение параметров агента сушки предусмотрено ГОСТ 19773–84 для кленовых пиломатериалов толщиной 50 мм [14] (табл. 3).

Шестиступенчатое изменение параметров агента сушки приводит И.В. Кречетов для кленовых пиломатериалов толщиной 50 мм [18] (табл. 4).

Семиступенчатое изменение параметров агента сушки приведено в «Справочнике по деревообработке» для кленовых пиломатериалов толщиной 50 мм [20] (табл. 5).

Восьмиступенчатое изменение параметров агента сушки приведено в работе Соколова П.В. [21] для пиломатериалов из древесины клена (табл. 6).

Как видно из табл. 7 представленные режимы отличаются один от другого начальными и конечными температурой агента сушки, степенью насыщенности, количеством ступеней, а также сочетанием пород древесины (бук, ясень, клен,

Т а б л и ц а 8

**Режим импульсной сушки пиломатериалов  
толщиной 50 мм из древесины клена**  
Impulse drying mode of sawn timber 50 mm thick  
from maple wood

Продолжительность сушки, сут.	Температура агента сушки, °С	Режим сушки, ч		Текущая влажность, %
		Операция «работа»	Операция «пауза»	
1	40	1	3	63,85
2	45	1,5	3	57,6
6	48	2	3	46,7
10	50	2	3	37,4
14	53	2	3	28,8
17	55	2	3	21,9
19	58	2	3	17,8
23	60	2	3	12,5
27	62	2	3	9,4
30	63	2	3	8,1
32	65	2	3	7,03

лиственница). Все упомянутые выше режимы использовались в паровых сушильных камерах периодического действия, которые в настоящее время не применяются вследствие высокой стоимости технологического водяного пара.

Какими же режимами лучше сушить пиломатериалы из древесины клена? Для сушки кленовых пиломатериалов выходом из сложившейся ситуации, с нашей точки зрения, является использование режимов импульсной сушки [15]. Суть этих режимов заключается в том, что тепловая энергия древесине передается импульсами с определенной последовательностью, а режим сушки включает в себя две циклически повторяющиеся операции — «работа» и «пауза». В процессе операции «работа» происходит передача тепла материалу и удаление испаряемой

из древесины влаги. При операции «пауза» прекращается подача тепловой энергии в сушильную камеру, что приводит к снижению температуры поверхностных слоев древесных сортиментов и появлению положительного градиента температуры. При этом влага, испаряемая из древесины, остается в сушильной камере, увеличивая степень насыщенности сушильного агента, а движением влаги из внутренних зон древесных сортиментов к поверхностным — ускоряется. Таким образом, при операции «пауза» сушильный процесс продолжается и одновременно частично снимаются внутренние напряжения в древесине.

Операции «работа» и «пауза» повторяются до тех пор, пока древесина не достигнет конечной влажности. При этом промежуточная влаготеплообработка не проводится вовсе [16].

В табл. 8 приводится пример режима импульсной сушки пиломатериалов из древесины клена толщиной 50 мм.

## Выводы

Многолетний опыт применения режимов импульсной сушки для пиломатериалов из древесины клена подтвердил возможность их использования на деревоперерабатывающих предприятиях.

## Список литературы

- [1] Лесная энциклопедия / Под ред. Г.И. Воробьева. М.: Сов. Энциклопедия, 1985. 563 с.
- [2] Древесные породы мира. В 3 т. Т. 2 / Под ред. Г.И. Воробьева. М.: Лесная пром-сть, 1982. 352 с.
- [3] Сукачев В.Н. Дендрология с основами лесной геоботаники. Л.: Гослестехиздат, 1934. 616 с.
- [4] Ванин С.И. Древесиноведение. Л.: Гослестехиздат, 1940. 460 с.
- [5] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для вузов. М.: МГУЛ, 2002. 340 с.
- [6] Джонс В.С. Древесные породы, их строение и отличительные признаки. М.: Гослестехиздат, 1932. 171 с.

## Сведения об авторах

**Курышов Григорий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), kuryshov@mgul.ac.ru

**Косарин Анатолий Александрович** — канд. техн. наук, доцент, заместитель директора ООО «Форсклад», kosarin2008@yandex.ru

- [7] Перельгин Л.М. О физико-механических свойствах древесины клена // Сб. работ по исследованию физико-механических свойств древесины / отв. ред. М.П. Смирнов-Чубриков. М.: Гослестехиздат, 1933. 132 с.
- [8] Шувалов С.В. Текстура и анатомическое строение древесины различных форм кленов Северного Кавказа // Матер. Международного симпозиума имени Б. Н. Уголева «Строение, свойства и качество древесины». М.: МГУЛ, 1990. 373 с.
- [9] Богданов Е.С., Козлов В.А., Кунтыш В.Б., Мелехов В.И. Справочник по сушке древесины. М.: Лесная пром-сть, 1990. 304 с.
- [10] Богданов Е.С. Расчет, проектирование и реконструкция лесосушильных камер. М.: Экология, 1993. 352 с.
- [11] Серговский П.С. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1968. 448 с.
- [12] Серговский, П.С. Режимы и проведение камерной сушки пиломатериалов. М.: Лесная пром-сть, 1976. 136 с.
- [13] Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. Архангельск: Научдревпром – ЦНИИМОД, 2000. 125 с.
- [14] ГОСТ 19773–84. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия. М.: Изд-во стандартов 1990. 446 с.
- [15] Косарин А.А. Технология импульсной сушки пиломатериалов: автореф. дис. ... канд. тех. наук, 2012. 22 с.
- [16] Курышов Г.Н., Косарин А.А., Косарина А.А. Способ импульсной сушки. Пат. № 2637288. Российская Федерация. Опубл. 01.12.2017.
- [17] Расев А.И., Курышов Г.Н. Технология сушки пиломатериалов в аэродинамических камерах // Деревообработка в России, 1998. № 1. С. 3–4.
- [18] Кречетов И.В. Сушка древесины. М.: Лесная пром-сть, 1972. 440 с.
- [19] Серговский П.С. Исследование реологических свойств и режимов сушки древесины бука и лиственницы // Матер. науч.-техн. конф. по итогам научно-исследовательских работ 1965 года. Рефераты докладов. Секция технологии деревообработки. Москва, 11–27 апреля 1966 г. М.: МЛТИ, 1966. 42 с.
- [20] Справочник по деревообработке / под ред. В.Г. Осадчиева. М.; Л.: Гослестбумиздат, 1955. 519 с.
- [21] Соколов П.В. Сушка древесины. М.: Гослестехиздат, 1955. 418 с.

Поступила в редакцию 05.11.2019.

Принята к публикации 12.12.2019.

# IMPULSE MAPLEWOOD LUMBER DRYING OF 50 MM THICKNESS IN CONVECTIVE DRYING KILNS

G.N. Kuryshov<sup>1</sup>, A.A. Kosarin<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ООО «Форклад», 40 st. Partizanskaya, Moscow, 121359, Russia

kosarin2008@yandex.ru

A review of literary sources on the modes and parameters of drying maple wood with a thickness of 50 mm is given. Drying modes are indicated, which depend on the current moisture content of the sawn timber and differ in the initial and final temperature of the drying agent, as well as the degree of saturation at the initial and final stages of the drying process. The drying process in different sources includes from 3 to 8 steps. A brief description of impulse drying of wood is given, and the first impulse drying of maple wood began in 1996 at Intar LLC (Moscow) on a modernized Ural-72 drying kiln with transverse-horizontal circulation of the drying agent, and control of wood moisture and internal stresses during the drying process was carried out by the method of control samples. The initial moisture content of wood was determined in accordance with GOST 16588–91. The application of pulsed modes when drying maple can reduce energy consumption up to 60%.

**Keywords:** maple wood lumber, impulse drying, drying modes

**Suggested citation:** Kuryshov G.N., Kosarin A.A. *Impul'snaya sushka pilomaterialov iz drevesiny klena tolshchiny 50 mm v konvektivnykh sushil'nykh kamerakh* [Impulse maplewood lumber drying of 50 mm thickness in convective drying kilns]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 69–73. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-69-73

## References

- [1] *Lesnaya entsiklopediya* [Forest Encyclopedia]. Ed. G.I. Vorobyov. Moscow: Sov. Encyclopedia, 1985, 563 p.
- [2] *Drevesnye porody mira. V. 3 t. T. 2* [Wood species of the world, in 3 vol. V. 2.]. Ed. G.I. Vorob'ov. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forest Industry], 1982, 352 p.
- [3] Sukachev V.N. *Dendrologiya s osnovami lesnoy geobotaniki* [Dendrology with the basics of forest geobotany]. Leningrad: Gosleshtekhizdat, 1934, 616 p.
- [4] Vanin S.I. *Drevesinovedenie* [Wood science]. Leningrad: Goslestekhizdat, 1940, 460 p.
- [5] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Moscow: MGUL, 2002, 340 p.
- [6] Jons V.S. *Drevesnye porody, ikh stroenie i otlichitel'nye priznaki* [Tree species their structure and distinctive features]. Moscow: Gosleshtekhizdat [State Forest Technical Publishing], 1932, 171 p.
- [7] Pereygin L.M. *O fiziko-mekhanicheskikh svoystvakh drevesiny klena* [On the physical and mechanical properties of maple wood]. Collection of works on the study of physical and mechanical properties of wood. Moscow: Gosleshtekhizdat [State Forest Technical Publishing], 1933, 132 p.
- [8] Shuvalov S.V. *Tekstura i anatomicheskoe stroenie drevesiny razlichnykh form klenov Severnogo Kavkaza* [Texture and anatomical structure of wood of various forms of maples of the North Caucasus]. Materials of the International Symposium named after B.N. Ugolev «Structure, Properties and Quality of Wood». Moscow: MGUL, 1990, 337 p.
- [9] Bogdanov E.S., Kozlov V.A., Kuntyshev V.B., Melekhov V.I. *Spravochnik po sushke drevesiny* [Handbook of wood drying]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forest Industry], 1990, 304 p.
- [10] Bogdanov E.S. *Rashchet, projektirovanie i rekonstruktsiya lesosushil'nykh kamer* [Calculation, design and reconstruction of timber drying chambers]. Moscow: Ecology Publ., 1993, 352 p.
- [11] Sergovskiy P.S. *Gidrottermicheskaya obrabotka i konservirovanie drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow: Lesnaya prom-st' Publ. [Forest Industry], 1968, 448 p.
- [12] Sergovskiy P.S. *Rezhimy i provedenie kamernoy sushki pilomaterialov* [Modes and chamber drying of lumber]. Moscow: Forest industry, 1976, 136 p.
- [13] *Rukovodnyashchie tekhnicheskie materialy po tekhnologii kamernoy sushki pilomaterialov* [Guidance technical materials on the technology of chamber drying of sawn timber]. Arkhangelsk: Nauchdrevprom – TsNIIMOD Publ., 2000, 125 p.
- [14] GOST 19773–84. *Pilomaterialy khvoynykh i listvennykh porod. Rezhimy sushki v kamerakh periodicheskogo deystviya* [Softwood and hardwood sawn timber. Drying modes in batch chambers]. Moscow: Publishing house of standards 1990, 446 p.
- [15] Kosarin A.A. *Tekhnologiya impul'snoy sushki pilomaterialov: avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk* [Technology of pulsed drying of lumber: author. Dis. ... Cand. Sci. (Tech.)], 2012, 22 p.
- [16] Kuryshov G.N., Kosarin A.A., Kosarina A.A. *Sposob impul'snoy sushki* [Pulse drying method]. Pat. No. 2637288. Russian Federation. Publ. 12.01.2017.
- [17] Rasev A.I., Kuryshov G.N. *Tekhnologiya sushki pilomaterialov v aerodinamicheskikh kamerakh* [Technology of drying sawn timber in aerodynamic chambers]. Woodworking in Russia, 1998, no. 1, pp. 3–4.
- [18] Krechetov I.V. *Sushka drevesiny* [Wood drying]. Moscow: Forest industry, 1972, 440 p.
- [19] Sergovskiy P.S. *Issledovanie reologicheskikh svoystv i rezhimov sushki drevesiny buka i listvennitsy* [Investigation of rheological properties and modes of drying of beech and larch wood]. Scientific and technical conference, abstracts of reports. Section of technology of wood processing. Moscow: MLTI, 1966, 42 p.
- [20] Osadchikov V.G. *Spravochnik po derevoobrabotke* [Handbook of woodworking]. Moscow–Leningrad: Goslesbumizdat, 1955, 551 p.
- [21] Sokolov P.V. *Sushka drevesiny* [Drying of wood]. Moscow: Gosleshtekhizdat, 1955, 418 p.

## Authors' information

**Kuryshov Grigoriy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), kuryshov@mgul.ac.ru

**Kosarin Anatoliy Aleksandrovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Deputy Director «Форклад», kosarin2008@yandex.ru

Received 05.11.2019.

Accepted for publication 12.12.2019.

**ДРЕВЕСИНА КАК ХИМИЧЕСКОЕ СЫРЬЕ: ИСТОРИЯ И СОВРЕМЕННОСТЬ****I. ЛИГНОУГЛЕВОДЫЙ КОМПЛЕКС ДРЕВЕСИНЫ КАК ОБЪЕКТ ИЗУЧЕНИЯ****Г.Н. Кононов, В.Д. Зайцев**

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

kononov@mgul.ac.ru

Статья посвящена истории изучения компонентов лигноуглеводного комплекса древесных растений с точки зрения их строения, функциональной активности и межмолекулярного взаимодействия. Кратко рассмотрены вопросы изучения основных светопоглощающих пигментов — хлорофиллов, благодаря которым фотосинтезирующая деятельность растений приводит к образованию компонентов лигноуглеводного комплекса древесины. История изучения целлюлозы представлена с момента ее обнаружения в древесине А. Браконно в 1818 г., структуры лигнина — с 1838 г., времени его открытия А. Пайеном, а гемицеллюлоз — с момента введения в научный оборот этого термина Э. Шульце в 1891 г. На историческом фоне приведена трансформация представлений о строении этих компонентов лигноуглеводного комплекса от простых низкомолекулярных моделей через олигомерные к сложным высокомолекулярным и надмолекулярным структурам древесинного вещества. Данная статья является первой из научно-исторического цикла готовящихся к печати: II. Анатомия древесины как фактор ее химической активности. III. Пиролиз древесины как метод ее переработки. IV. Биологически активные вещества древесины и экстракционные технологии. V. Гидролиз древесины как путь получения ценных продуктов. VI. Химико-механические процессы в создании древесных конструкционных материалов.

**Ключевые слова:** фотосинтез, целлюлоза, гемицеллюлозы, лигнин, лигноуглеводный комплекс, древесинное вещество

**Ссылка для цитирования:** Кононов Г.Н., Зайцев В.Д. Древесина как химическое сырье: история и современность. I. Лигноуглеводный комплекс древесины как объект изучения // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89

*«Древесная целлюлоза пропитана инкрустирующими веществами или различно с этими веществами агрегирована»*

А. Пайен, 1838 г.

**Е**стественная история фотосинтезирующих организмов огромна. Начавшись более 2 400 млн лет тому назад появлением первых цианобактерий, синтезирующих простейшие углеводы, и продолжившись до 440 млн лет тому назад выходом первых растений на сушу, благодаря появлению в их тканях лигнина, она привела к появлению около 300 млн лет назад первых голосеменных, а спустя 200 млн лет — и покрытосеменных древесных растений, потомки которых и образуют современное дендрологическое многообразие нашей планеты. Прошли многие и многие тысячелетия с тех пор, когда древние люди использовали огонь горящей древесины как источник энергии и, предвосхитив изобретение колеса, поняли что ствол срубленного дерева легче катить, чем тащить, а из него можно изготавливать различные изделия.

На этом фоне история изучения лигнифицированных тканей растений, в первую очередь древесных, выглядит достаточно скромно. Но, тем не менее, прошло уже 200 лет с начала исследования целлюлозы и 180 лет — лигнина — ос-

новных компонентов тканей древесных растений, и самых распространенных биополимеров на поверхности планеты Земля.

**Цель работы**

Целью работы является рассмотрение методов компонентного анализа лигноуглеводного комплекса древесины на историческом фоне изучения химического строения ее основных компонентов.

**Материалы и методы****Фотосинтез как планетарный процесс**

Вся фитомасса на поверхности Земли, включая древесную, образована за счет протекания процессов фотосинтеза — основополагающих в образовании лигноуглеводного комплекса, из которого сформирована основная часть тканей растений, и в первую очередь древесных.

Началом экспериментальных работ в области фотосинтеза считают исследования первооткрывателя кислорода — английского священника Дж. Пристли, проведенные в 1771–1780 гг. [1].

Он обнаружил, что растения способны восстанавливать «хорошие качества» воздуха, испорченные дыханием или горящей свечой, и делать его вновь пригодным для дыхания и горения.

В 1779 г. голландский врач и естествоиспытатель Я. Ингенхаус установил, что растения способны «улучшать» воздух только на солнечном свете и только своими зелеными частями [1].

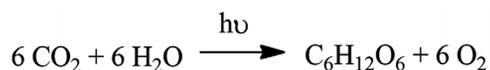
Фотосинтезирующие организмы содержат пигменты, способные поглощать энергию видимого света, запуская тем самым химические реакции фотосинтеза. Основными пигментами являются хлорофиллы, содержащиеся в пластидах клеток, называемых хлоропластами. К.А. Тимирязев писал: «Зерно хлорофилла — тот фокус, та точка в мировом пространстве, в которой живая сила солнечного луча превращается в химическое напряжение».

Зеленый пигмент впервые выделили из листьев в 1817 г. и назвали его хлорофиллом (греч. *chlōrós* — зеленый, *phýllon* — лист) французские химики-фармацевты — Ж. Пельтье и Ж. Каванту. В кристаллическом виде хлорофилл впервые получил русский ботаник И.П. Бородин в 1882 г., а в 1887 г. польские биохимики М. Ненцкий и Л. Мархлевский показали, что основу молекулы хлорофилла составляет порфириновое кольцо. Русский ученый М.С. Цвет в 1903 г., впервые применив метод хроматографии на колонке с мелом и сахарной пудрой, разделил хлорофилл на две фракции — хлорофилл *a* и хлорофилл *b*. В 1914 г. немецкий химик Р. Вильштеттер определил элементный состав хлорофиллов *a* и *b* соответственно как  $C_{55}H_{72}N_4O_5Mg$  и  $C_{55}H_{70}N_4O_6Mg$  и доказал, что у всех растений, независимо от условий их обитания, хлорофиллы *a* и *b* одинаковы. За эти исследования в 1915 г. он был удостоен Нобелевской премии по химии.

Структурные формулы хлорофиллов *a* и *b* были установлены другим нобелевским лауреатом немецким химиком Г. Фишером в 1940 г. А в 1960 г. химики-органики Р. Будворд (США) и М. Штрель (ФРГ) завершили препаративный синтез хлорофиллов, состоящий из 46 стадий, и подтвердили правильность структурных формул, установленных Г. Фишером.

В результате фотосинтеза с участием хлорофиллов и других вспомогательных пигментов из неорганических соединений — углекислого газа и воды — образуются предшественники всех первичных и вторичных метаболитов растений — моносахариды, основным из которых является глюкоза. Факт того, что источником углеродного питания растений является углекислый газ, был доказан шведским ботаником Ж. Сенебье еще в 1782 г., а в 1804 г. его соотечественник Н. Соссюр показал, что в этом процессе участвует и вода.

Точное количественное изучение процесса фотосинтеза было проведено в 1864 г. французским ученым Ж. Бусенго, который предложил общее уравнение фотосинтеза:



Наличие в воде кислорода, выделяющегося при этом, определили наши соотечественники — А.П. Виноградов и Р.В. Тейс лишь в 1941 г. [2].

### **Целлюлоза — основа лигноуглеводного комплекса древесины**

Низкомолекулярные сахара, образовавшиеся в результате фотосинтеза благодаря сложнейшим биохимическим процессам превращаются в большую гамму полисахаридов — основных компонентов древесины.

Первые исследования в области химического состава древесины относятся к началу XIX в. В то время изучался только элементный состав древесины, которую считали индивидуальным соединением, соотношение элементов в котором колеблется в определенном интервале, в зависимости от вида древесного растения. Иногда указывались даже формулы древесины, например  $C_{38}H_{24}O_{20}$  [3].

Начало исследования компонентного состава древесины было положено в 1818 г. работой французского исследователя А. Браконно, который установил, что при воздействии концентрированной серной кислоты на древесину образуются сахара. Он писал: «Сахар из древесины есть без сомнения замечательное явление». Из этого факта он сделал вывод, что древесина состоит из полисахаридов. Тогда было выяснено, что клеточная стенка древесных растений содержит полисахарид, устойчивый к действию азотной кислоты и щелочи. Этот полисахарид назвали целлюлозой или клетчаткой (лат. *cellula* — клетка). Результаты первоначальных исследований, касающихся строения и свойств целлюлозы, изложены в его статье, опубликованной в 1819 г. [4, 5].

К началу XX в. Ученые попытались обобщить имеющиеся знания о целлюлозе. Тогда уже была точно известна ее элементарная формула —  $C_6H_{10}O_5$  и считалось, что молекула целлюлозы очень велика. Строение целлюлозы не было известно, но на основании экспериментальных данных было установлено, что молекулярная ее масса чрезвычайно высока [6].

Р. Пайен, впервые описавший целлюлозу, полученную им при последовательной обработке частей растений спиртом, эфиром, водой, щелочами и кислотами, полагал, что различные составные части растительного вещества находятся в состоянии тесного сцепления между собой, и химически друг с другом не связаны [7].

Представление о спутниках целлюлозы как веществах, «инкрустирующих целлюлозу» (термин «инкрустирующие» вещества, введенный Пайеном, означает всю сумму примешанных к целлюлозе веществ, подлежащих удалению при получении целлюлозы), поддерживали более поздние исследователи [8].

Э. Хейзер, и в особенности, его ученики, развили представление о нахождении целлюлозы в растительном веществе в свободном (химически не связанном с ее спутниками) состоянии.

Первые структурные формулы целлюлозы предложили С. Кросс и Е. Бивен. Целлюлоза представлялась в виде циклического соединения с четырьмя гидроксильными группами, способного к дальнейшему образованию цепей альдольного уплотнения. Однако выясненное впоследствии наличие в элементарной молекуле целлюлозы ( $C_6H_{10}O_5$ ) лишь трех активных гидроксильных групп, способных к реакциям эфиризации, и невозможность получения гидразонов целлюлозы, заставили отказаться от этой формулы [9, 10].

Формула Толленса содержала три гидроксильные группы в элементарной молекуле и не имела кетонных групп. В основу ее построения положен гликозидный остаток. В дальнейшем большую популярность приобрела формула Гри-

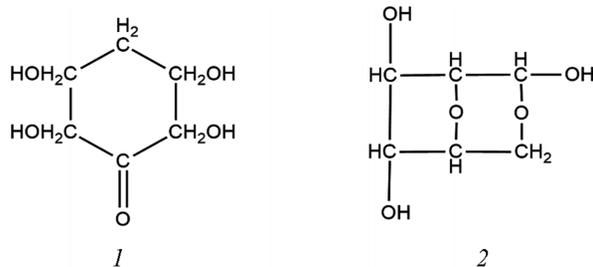


Рис. 1. Целлюлоза как низкомолекулярное соединение согласно формулам Кросса и Бивена (1); Грина и Перкина (2)

Fig. 1. Formulas of cellulose as a low molecular weight compound: Cross and Beven (1); Green and Perkin (2)

на и Перкина, согласно которой целлюлоза представляет собой внутренней ангидрид глюкозы, содержащий ядро гидрофурана (рис. 1) [11].

Сторонники теории малых молекул, выдвинутой М. Бергманом, такие как К. Гесс, П. Каррер, Х. Прингсхейм, Дж. Ирвайн, полагали, что элементарная молекула целлюлозы состоит из небольшого числа остатков глюкозы  $C_6H_{10}O_5$ , не более четырех, и что высокомолекулярный характер целлюлозы объясняется действием ассоциации (побочных валентностей), которые соединяют малые элементарные молекулы целлюлозы в большие агрегаты — мицеллы. Таким образом, формула

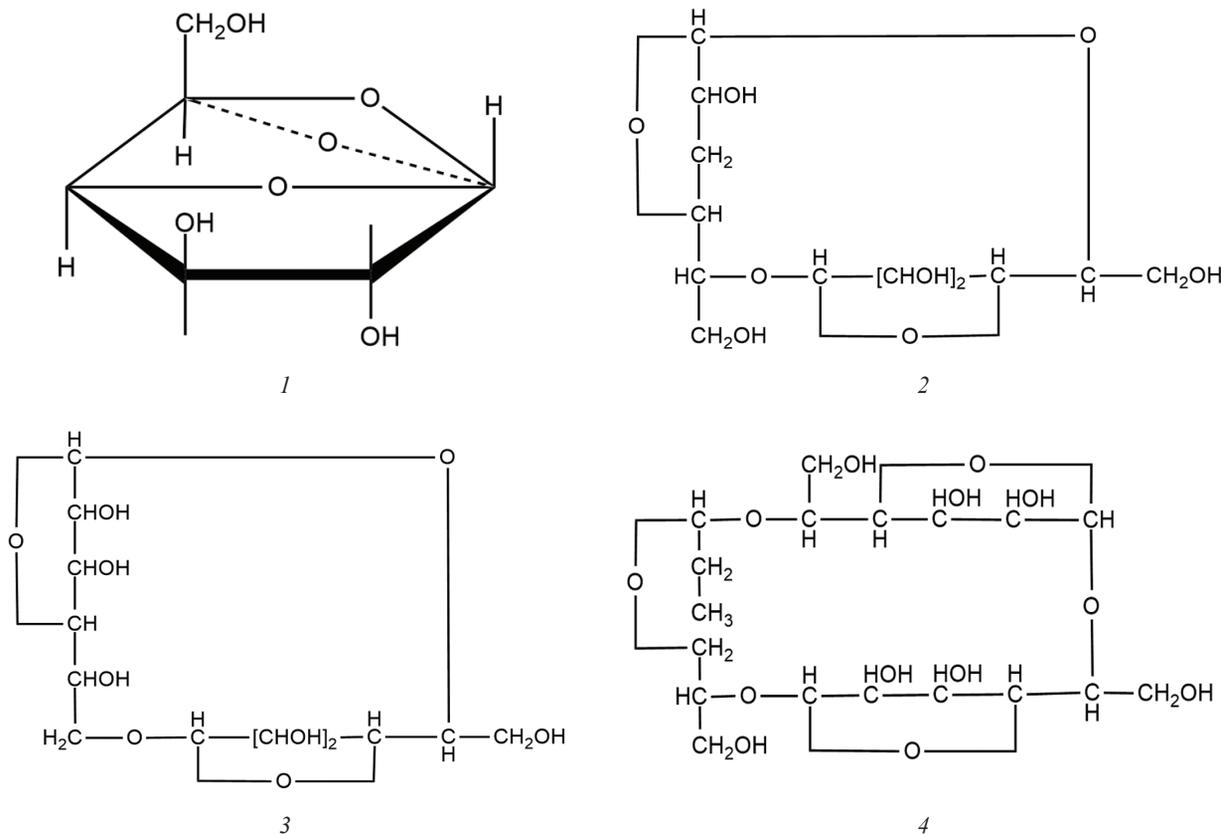


Рис. 2. Целлюлоза согласно формулам сторонников теории малых молекул: Гесса (1), Каррера (2), Прингсхейма (3), Ирвайна (4)

Fig. 2. Cellulose formulas by theory of small molecules: Hess (1), Carrer (2), Pringsheim (3), Irvine (4)



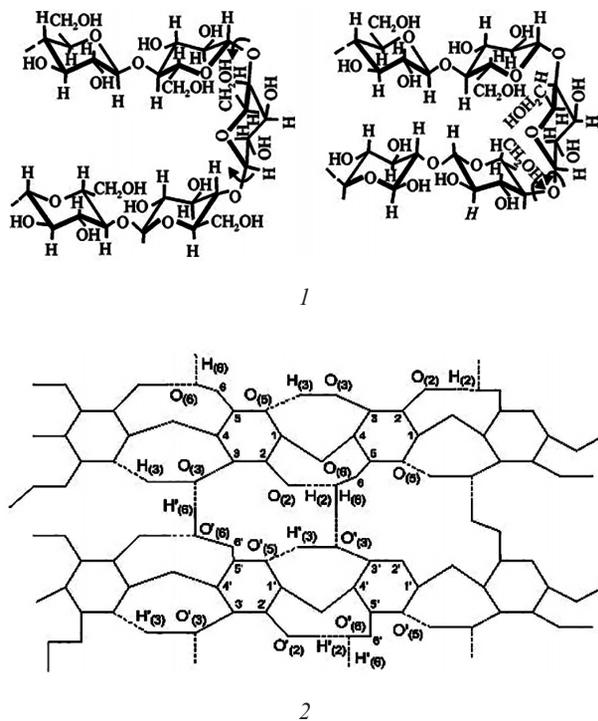


Рис. 5. Надмолекулярные складчатые структуры (1) и кристаллиты (2) целлюлозы

Fig. 5. Supramolecular fold structures (1) and crystallites (2) of cellulose

**Гемицеллюлозы — нецеллюлозные полисахариды древесины**

Кроме целлюлозы в лигноуглеводный комплекс древесины входит обширная группа нецеллюлозных полисахаридов, называемых гемицеллюлозами. Впервые термин гемицеллюлоза (лат. *hemi* — полу) был использован в работах Е. Шульце в 1891 г. для обозначения компонентов клеточной стенки древесной клетки, способных извлекаться водными растворами щелочей и гидролизаться разбавленными кислотами при кипячении, в отличие от целлюлозы, только набухающей в щелочных растворах и устойчивой к кислотному гидролизу в указанных условиях [16].

Другим исследователем — Л. Уайзом к этому определению гемицеллюлозы было добавлено, что она в том виде, в котором содержится в клеточной стенке, не растворяется в холодной воде и нейтральных органических растворителях, в отличие от растворимых полисахаридов пектиновых веществ и камедей [17].

Ранее считалось, что гемицеллюлоза представляет собой промежуточный продукт биосинтеза целлюлозы, этим и объяснялось происхождение ее названия, которое использовалось в единственном числе [18]. В настоящее время этот термин используется только во множественном числе — **гемицеллюлозы**.

Сравнительно недавно существовало представление о гемицеллюлозах древесины как о гомополимерах — пентозанах, метилпентозанах, гексозанах, полиуроновых кислот. Однако в результате проведения многочисленных работ ученые многих стран мира выяснили, что гомополимерные полисахариды не свойственны для древесины и в ее состав входят смешанные полисахариды разветвленного строения, макромолекулы которых включают в себя остатки пентоз, метилпентоз, гексоз, уроновых кислот. Макромолекулы гемицеллюлоз различаются природой остатков моносахаридов, характером связи между ними, степенью разветвленности, молекулярной массой, полидисперсностью и поэтому чрезвычайно разнообразны.

В разное время и различными исследователями для обозначения гемицеллюлоз были предложены следующие термины:

- полиозы (Штаудингер, Роговин);
- сопутствующие углеводы (Гессе);
- целлюлозаны (Норман).

Однако термин «гемицеллюлозы», предложенный Шульце, и в настоящее время наиболее распространен и признан.

При графическом изображении структурных формул макромолекул полисахаридов гемицеллюлоз применяются международные символы, обозначающие остатки моносахаридов, которые образуют элементарные звенья, характерные функциональные группы (таблица) и типы связей между элементарными звеньями.

В настоящее время определено строение многих гемицеллюлоз, разнообразие которых оценивается сотнями индивидуальных соединений.

В частности, основными представителями гемицеллюлоз древесины хвойных пород являются галактоглокоманнаны, 4-о-метилглюкоронарабоксиланы и арабогалактаны, лиственных пород — 4-о-метилглюкоронксиланы и глюкоманнаны, отличающиеся особенностями строения, в зависимости от принадлежности к той или иной древесной породе (рис. 6) [1].

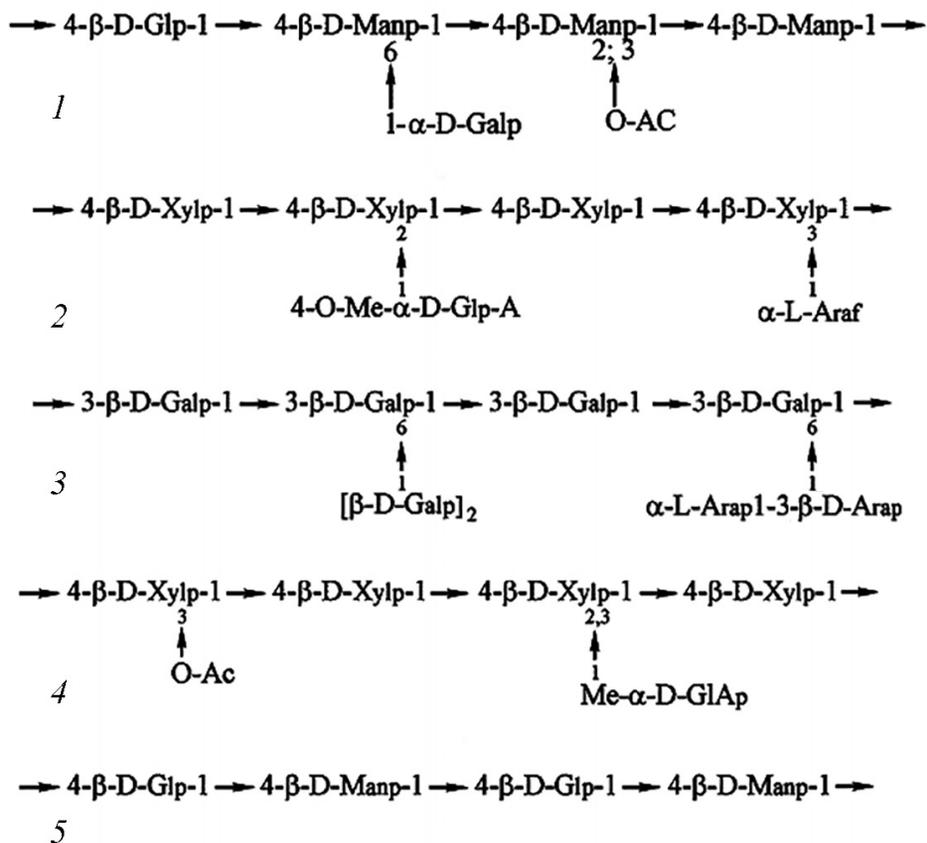
**Лигнин как инкрустирующее вещество**

В 1838 г. французский исследователь А. Пайен высказал предположение, что «древесная целлюлоза пропитана инкрустирующими веществами или различно с этими веществами агрегирована». В процессе выделения целлюлозы из древесины он наблюдал растворение этих веществ. При попытке их выделения в чистом виде была получена серия препаратов, загрязненных тем или иным содержанием целлюлозы. Эти препараты получили названия: лигноза, лигنون, лигнереоза, лигнин. Позднее термин «лигнин» был использован для обозначения всего «инкрустирующего материала» (лат. *lignum* — дерево) [19].

**Международные символы для обозначения остатков моносахаридов  
и функциональных групп**

**International symbols for residues of monosaccharides and functional groups**

Остатки моносахаридов, функциональные группы	Структурная формула	Международный символ
D-глюкопираноза		D-Glp
D-маннопираноза		D-manp
D-галактопираноза		D-Galp
D-ксилопираноза		D-Xylp
L-арабафураноза		L-Araf
L-рамнопираноза		L-Rhap
D-глюкуроновая кислота		D-Glap
D-галактуриновая кислота		D-GalAp
4-О-метил D-глюкуроновая кислота		4-O-Me-D-GIAp
Метоксильная группа	$-O-CH_3$	-O-Me
Ацетильная группа	$-O-\overset{O}{\parallel}C-CH_3$	-O-Ac



**Рис. 6.** Структурные формулы основных типов гемичеселлюлоз древесины хвойных пород: 1 — галактоглокманнан, 2 — 4-о-метилглюкоронксилан, 3 — арабогалактан; лиственных пород: 4 — 4-о-метилглюкоронксилан, 5 — глюкоманнан  
**Fig. 6.** The main types of wood hemicelluloses softwoods: 1 — galactoglucmannan, 2 — 4-о-methylglucoronxylan, 3 — arabogalactan; hardwoods: 4 — 4-о-methylglucoronxylan, 5 — glucomannan

Этим соединениям, которые повышают содержание углерода в древесине по сравнению с целлюлозой, согласно его исследованиям, приписывалась формула  $C_{35}H_{48}O_{20}$ . По мере развития химии древесины понятие «лигнин» приобретало более узкий, конкретный смысл, и в настоящее время под этим термином подразумевается группа родственных высокомолекулярных компонентов древесины, общим признаком которых является нерастворимость в концентрированных кислотах (72%-й серной и 41%-й соляной). Многообразие этих компонентов вследствие отличий в строении, в зависимости от нахождения в древесине той или иной древесной породы, делает целесообразным применение этого термина во множественном числе — лигнины.

По своему распространению лигнины занимают второе место после целлюлозы среди органических соединений на поверхности нашей планеты.

Содержание лигнина является признаком высокой степени организации растений. Так, безусловно, он содержится в высших растениях, начиная с папоротникообразных.

Лигнин придает клеткам растения гидрофобность, позволяющую им сохранять форму при соприкосновении с водой и водными растворами, а также прочность и жесткость, играя роль связующего в древесине как в природном армированном пластике.

Образование лигнина в растительных клетках является следствием их жизнедеятельности с одной стороны, накопление же лигнина в растительной клетке является причиной прекращения ее жизнедеятельности — с другой. Так, окончание процесса лигнификации обычно совпадает с прекращением жизнедеятельности клетки, и лигнин является необратимым конечным продуктом метаболизма в растении [1, 20].

За годы исследования неоднократно высказывалось мнение об отсутствии лигнина в древесине. Предполагалось, что в ней присутствует единый углеводный комплекс, очень лабильный и способный под влиянием различных реагентов трансформироваться с образованием ароматических соединений. И. Гильперт, Г. Шульц, П. Сартен и Л.П. Жеребов в своих работах попытались

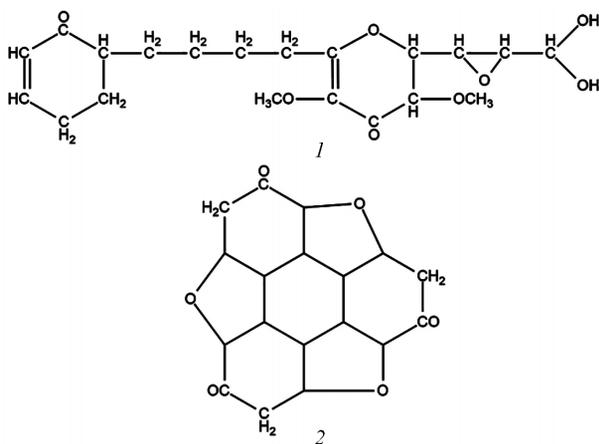


Рис. 7. Формулы лигнина как гидроароматического соединения: 1 — Кросса и Бивена, 2 — Шраута  
 Fig. 7. Formulas of lignin as a hydroaromatic compound: 1 — Crosse and Beven, 2 — Šrauta

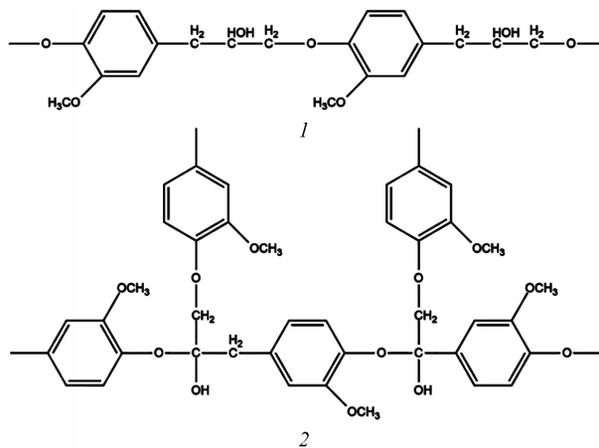


Рис. 9. Формулы лигнина как линейного полимера с простыми эфирными связями: 1 — Гибберта, 2 — Шорыгиной  
 Fig. 9. Formulas of lignin as a linear polymer with ether linkages: 1 — Gibberta, 2 — Shorygina

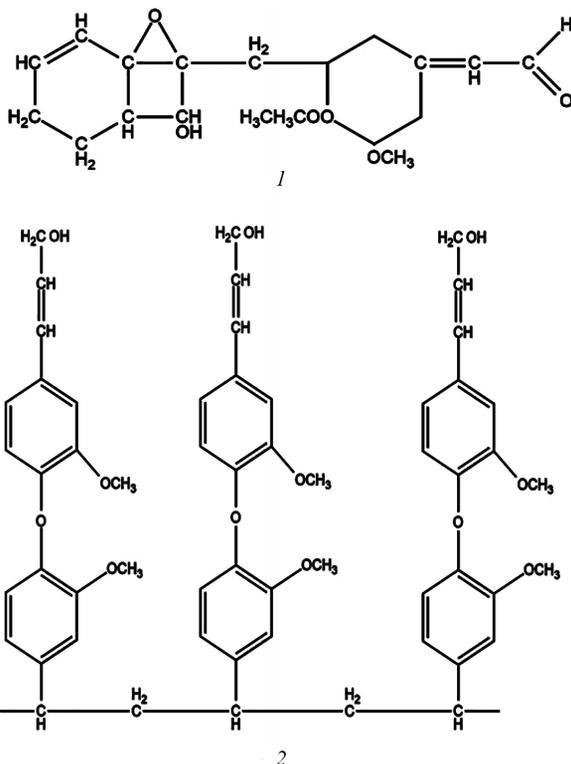


Рис. 8. Формулы лигнина как низкомолекулярного ароматического соединения: 1 — Класона, 2 — Кюршнера  
 Fig. 8. Formulas of lignin as a low molecular weight aromatic compound: 1 — Klason, 2 — Kurshner

доказать, что он образуется в момент выделения из древесины, однако изучение УФ-спектров поглощения древесины показали обратное [21].

Первая формула лигнина была предложена в конце XIX в. С. Кроссом и Е. Бивеном. Она представляла лигнин как гидроароматическую структуру и не объясняла многочисленность реакций лигнина, открытых после ее опубликования. Представление о гидроароматиче-

ской природе лигнина заложено и в формуле В. Шраута, опубликованной несколько позднее и выведенной теоретически на основании представления о превращении углеводов в лигнин (рис. 7) [22].

Первой формулой, признавшей ароматическую природу лигнина была формула И. Класона, опубликованная в 1908 г., но она не раскрывала его высокомолекулярного строения. Еще одна формула лигнина, но уже как соединения олигомерно-ароматической природы, была предложена К. Кюршнером (рис. 8) [23].

На основании изучения продуктов этанолиза и гидрогенолиза древесины Х. Гибберт предложил формулу лигнина как линейного ароматического полимера. В работах Н.Н. Шорыгиной по разложению лигнина натрием в жидком аммиаке лигнин представлен как разветвленный полимер. И в первом, и во втором случае лигнин содержит только простые эфирные связи между элементарными звеньями (рис. 9) [24].

Строение макромолекул лигнинов нельзя описать простой комбинацией мономерных единиц с одним или несколькими типами связей, поэтому структура лигнина остается до последнего времени предметом моделирования [25].

Впервые модель лигнина как линейного полимера, содержащего не только простые эфирные, но и углерод-углеродные связи, включавшая девять гваяцилпропановых единиц, предложил Е. Адлер в 1957 г. (рис. 10) [26].

Большую работу по изучению и моделированию структуры лигнина проводил К. Фрейденберг. Многие стадии биосинтеза лигнина были изучены благодаря проведенному им синтезу искусственного лигнина — дегидрополимера (ДГП), полученного дегидрированием вне растительной клетки в присутствии ферментов — фенолоксидазы, лаказы



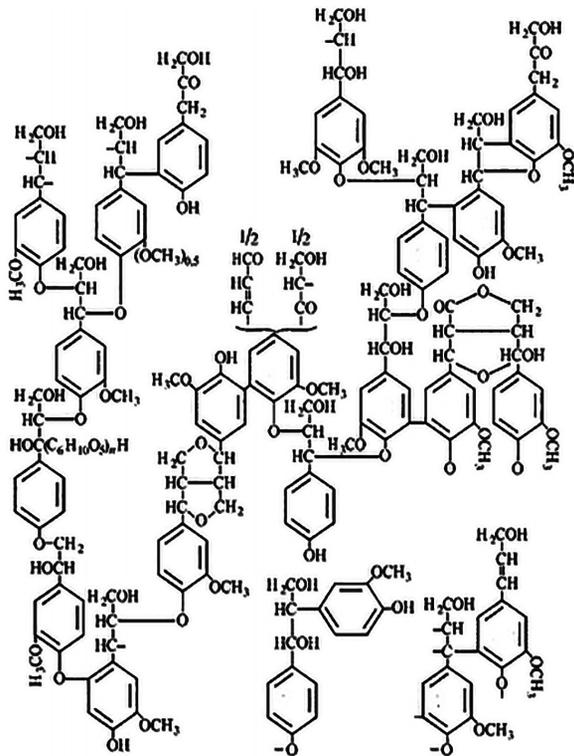


Рис. 11. Схема фрагмента макромолекулы хвойного лигнина по Фрейдбергу  
Fig. 11. Scheme of softwood lignin macromolecule fragment by Freudenberg

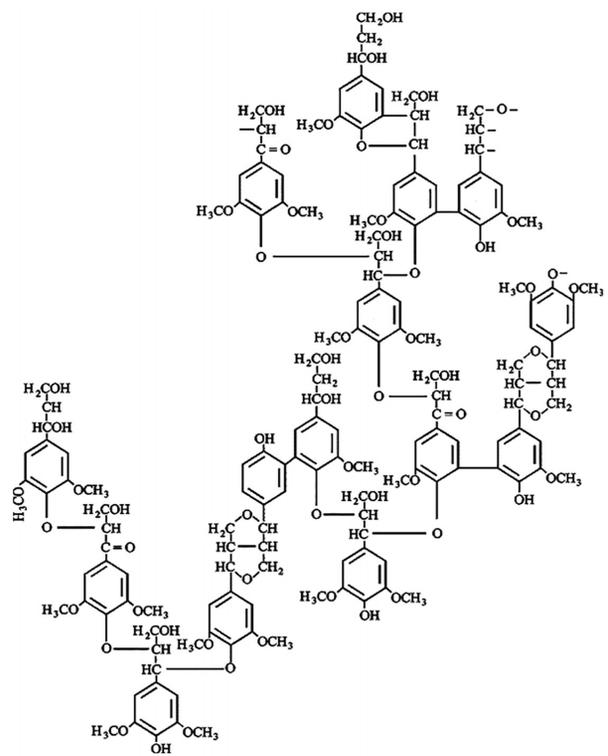


Рис. 12. Схема фрагмента макромолекулы лиственного лигнина по Фрейдбергу  
Fig. 12. Scheme of hardwood lignin macromolecule fragment by Freudenberg

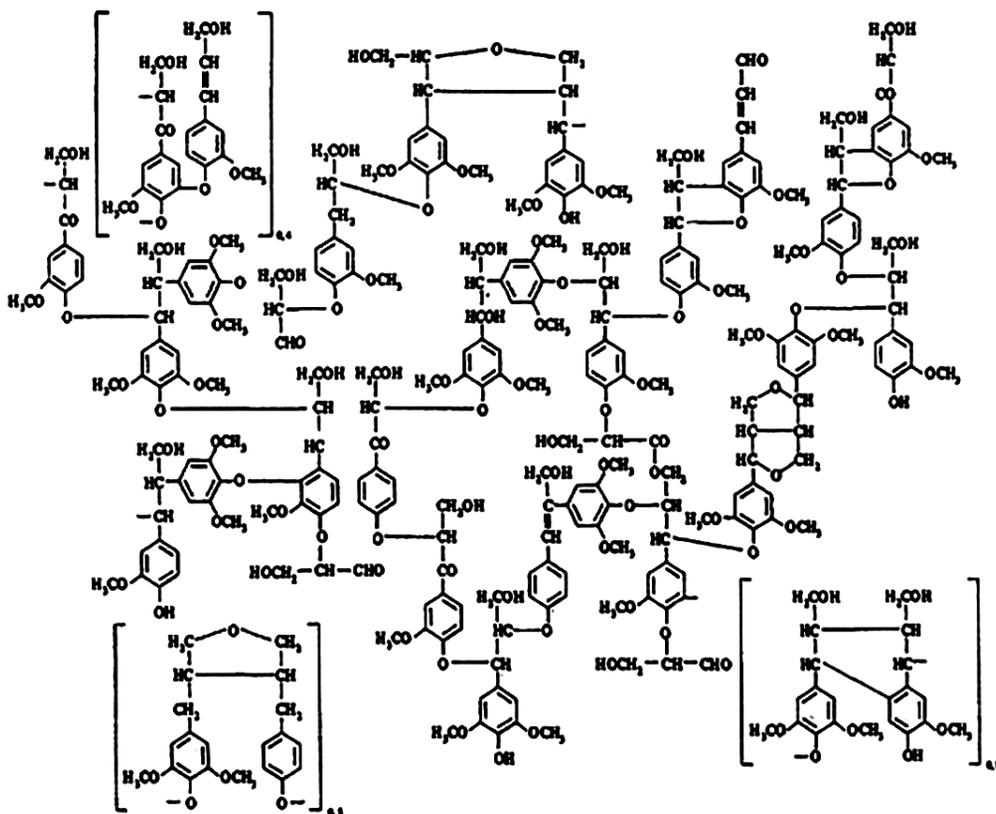


Рис. 13. Модель структуры лигнина бука по Нимцу  
Fig. 13. Beechwood lignin structure model by Nimz

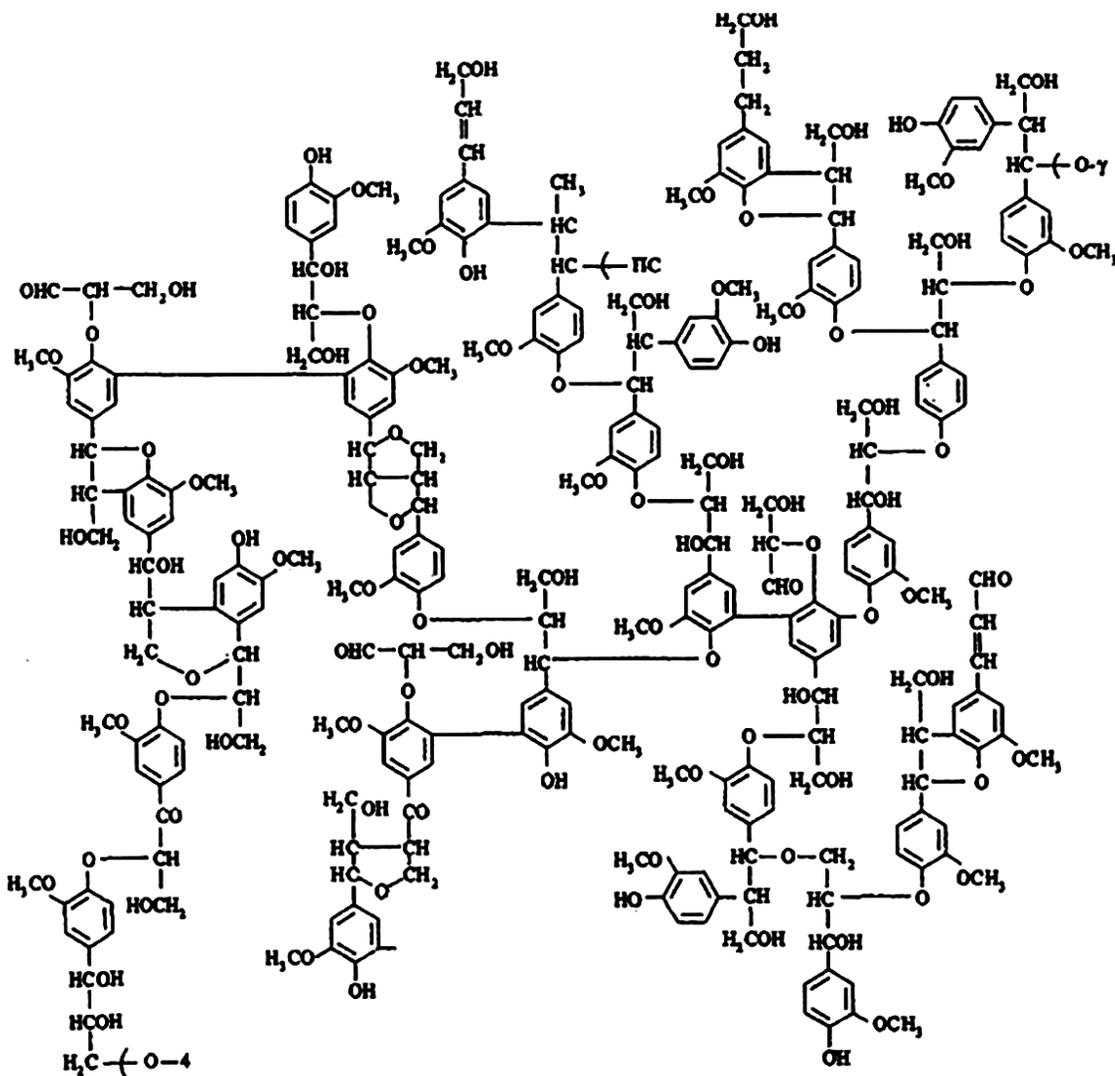


Рис. 14. Модель структуры лигнина ели по Сакакибаре  
 Fig 14. Spruce lignin structure model by Sakakibar

Кроме моделей, представляющих собой фрагменты макромолекул лигнинов, построенные случайным сочетанием мономерных звеньев, типов связей и функциональных групп, были предложены большие структурные модели хвойного лигнина, построенные с помощью ЭВМ. Первую такую модель опубликовал Глессер в 1974 г. Она состояла из 80 фенолпропановых единиц. Затем модель расширили и уточнили детали (1981), после чего она уже состояла из 94 структурных единиц с общей молекулярной массой более 17 000 Да (рис. 15). Построение этой модели основано на обширной аналитической информации с использованием как химических, так и современных физико-химических методов анализа: ПМР-спектроскопии, гельпроникающей хроматографии, газовой хроматографии и масс-спектроскопии [29].

Модель количественно отображает почти все известные типы связей между ФПЕ и функцио-

нальные группы природного хвойного лигнина и дает наглядное представление о строении этого сложнейшего природного высокомолекулярного соединения. Порядок расположения отдельных структур в модели был выбран в известной мере произвольно, так как макромолекулы лигнинов не строятся с помощью матриц, обеспечивающих их точное воспроизводство, и при их биосинтезе имеет место элемент случайности.

В результате анализа исследований, проведенных в последнее время, древесинное вещество, состоящее из целлюлозы, гемицеллюлоз и лигнина, связанных между собой химическими связями и межмолекулярными взаимодействиями, рассматривается как единый лигно-углеводный комплекс, представляющий собой подобие твердого раствора (рис. 16), формирующего физическую структуру древесины (рис. 17) [30].

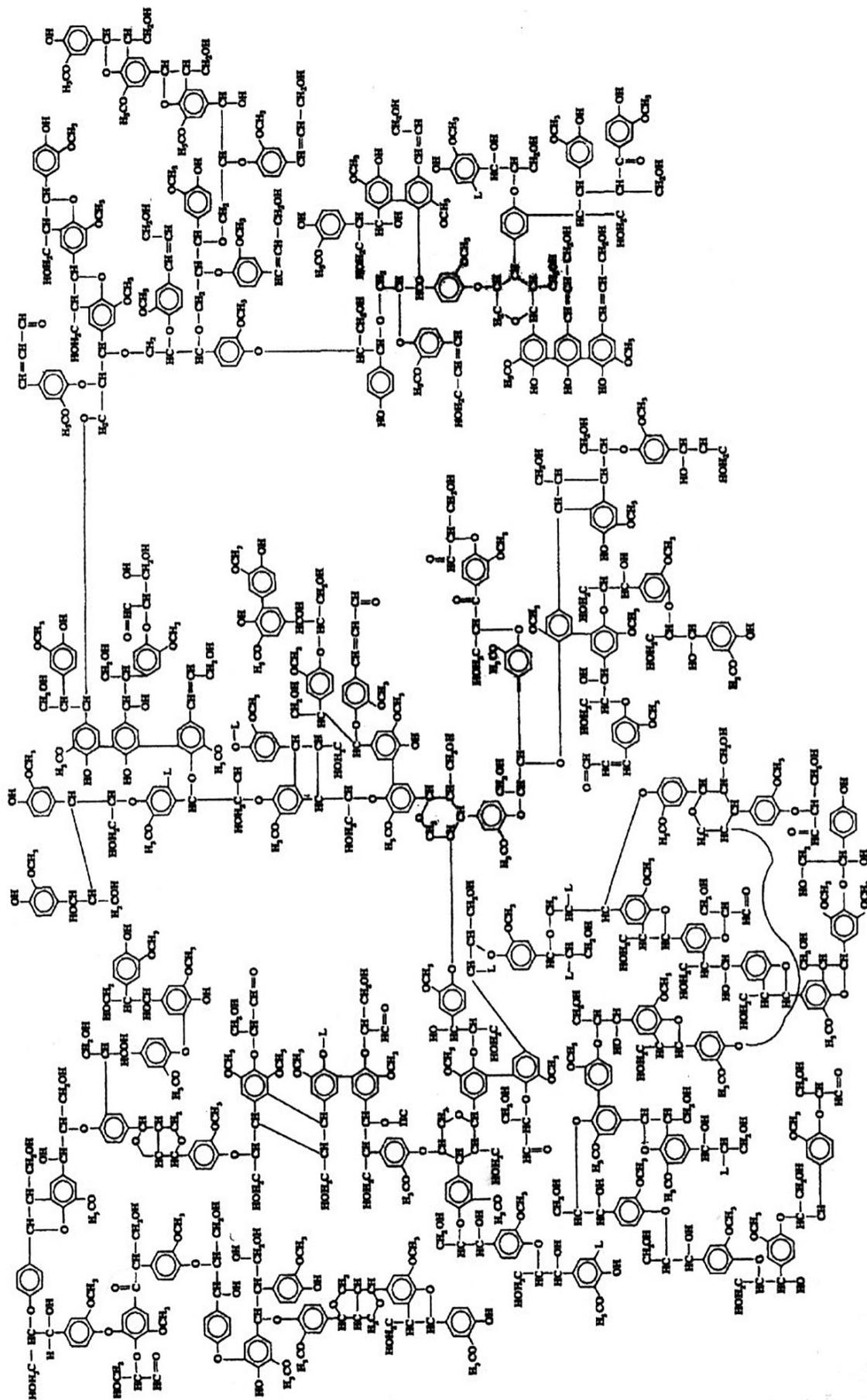


Рис. 15. Компьютерная модель структуры хвойного лигнина по Глессеру  
 Fig 15. Softwood lignin computer model structure by Glesser

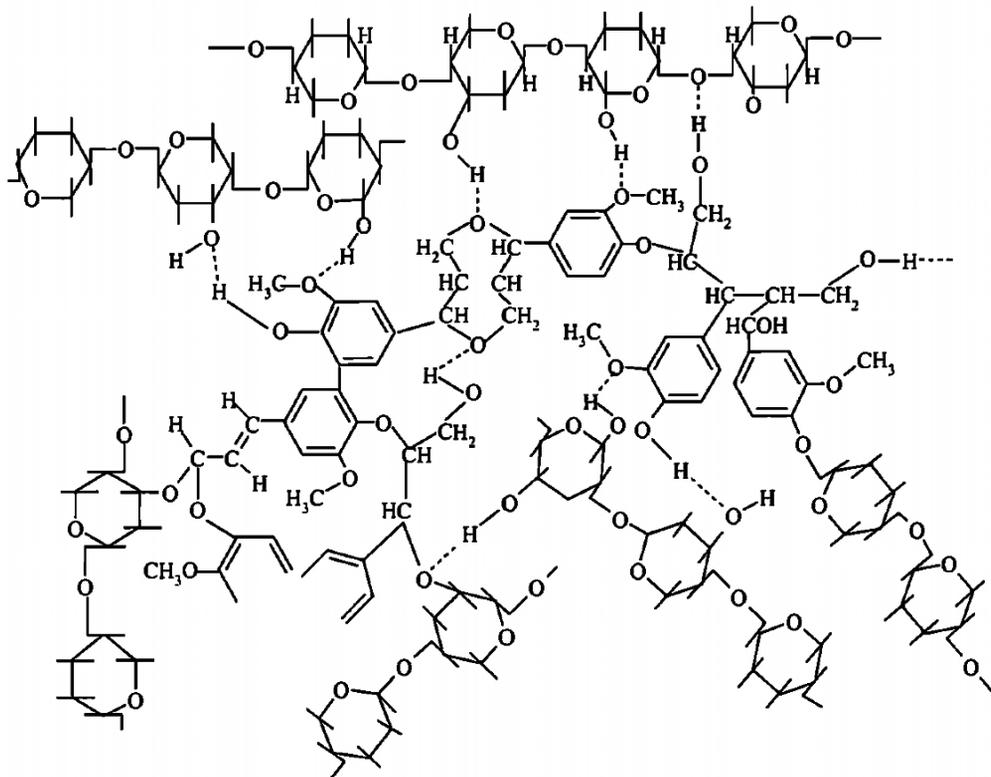


Рис. 16. Схема строения древесины как твердого раствора  
 Fig. 16. Scheme of wood structure as a solid solution

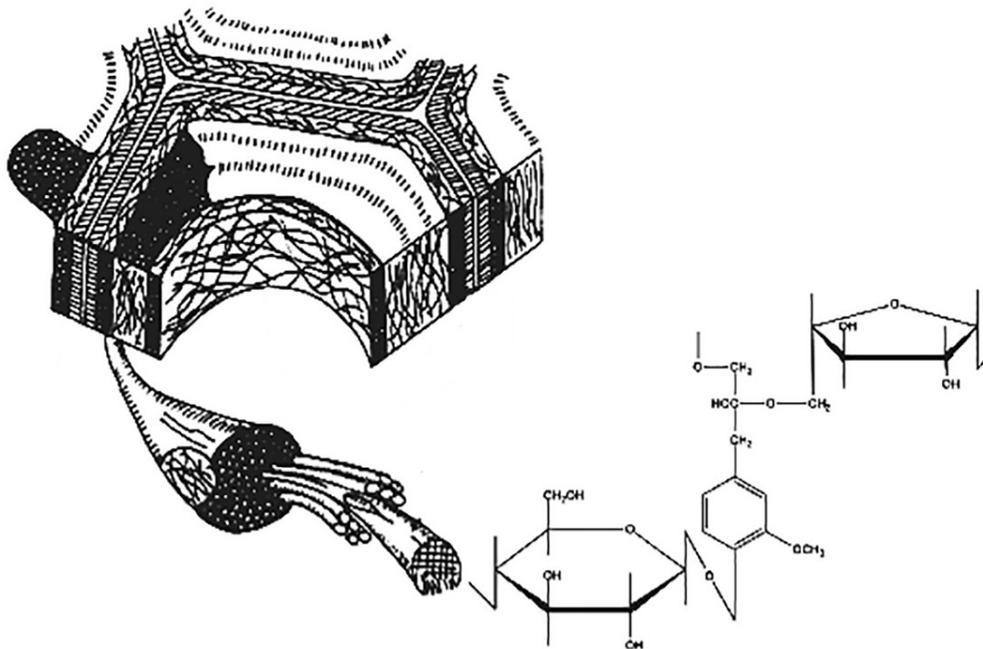


Рис. 17. Химический комплекс физической структуры древесины  
 Fig. 17. Chemical complex of the physical structure of wood

## Выводы

Многолетние исследования лигноуглеводного комплекса древесины привели к следующим выводам:

1. Все компоненты лигноуглеводного комплекса являются высокомолекулярными соединениями.

2. Целлюлоза является стереорегулярным биополимером, молекулярное строение которого, не зависит от природы исходного материала.

3. Гемицеллюлозы относятся к биополимерам нерегулярного строения, которое напрямую связано с видовой принадлежностью древесинного вещества.

4. Лигнины нельзя отнести к полимерам, а только лишь к высокомолекулярным соединениям, в которых нет закономерного чередования структурных единиц в макромолекуле древесины.

5. Всем полисахаридам древесины характерно образование надмолекулярных структур различного типа.

6. Компоненты лигноуглеводного комплекса в большинстве своем химически или физико-химически связаны между собой, образуя основную часть древесинного вещества, лежащего в основе физической структуры древесины.

## Список литературы

- [1] Кононов Г.Н. Дендрохимия. Химия, нанохимия и биогеохимия компонентов клеток, тканей и органов древесных растений. В 2 т. М.: МГУЛ. 2015, Т. 1. 480 с. Т. 2. 632 с.
- [2] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов. М.: МГУЛ, 2002. 259 с.
- [3] Нердлингер Г. Технические свойства древесины. СПб.: Тип. тов. «Обществ. польза», 1868. 444 с.
- [4] Шорыгин П.П. Химия целлюлозы. М.: Редакция химической литературы ГОНТИ НКТП, 1936. 419 с.
- [5] Ванин С.И. Древесиноведение. Л.: Гослестехиздат, 1934. 548 с.
- [6] Никитин Н.И. Очерк по химии древесины: с кратким очерком строения древесины Л.А. Иванова. Л.: Науч. хим.-тех. изд-во. Гос. Тип. им. И. Федорова, 1926. 197 с.
- [7] Ушаков С.Н. Эфиры целлюлозы и пластические массы на их основе. Л.; М.: Госуд. науч.-техн. изд-во химич. литературы, 1941. 504 с.

- [8] Гесс К. Химия целлюлозы и ее спутников. Л.: ОНТИ-Госхимтехиздат, 1934. 620 с.
- [9] Марк Г. Физика и химия целлюлозы. Л.: ОНТИхимтеорет, 1935. 402 с.
- [10] Васечкин В.С., Мишин А.Д. Химическая переработка древесины. Свердловск. М.: Гослестехиздат, 1933. 264 с.
- [11] Гейзер Э. Химия целлюлозы. М.: Изд. Техн. эконом. совета бум. пром-ти, 1923. 189 с.
- [12] Даванков А.Б. Лабораторные работы по химии целлюлозы и целлюлозным пластикам. М.: Редакция химической литературы ГОНТИ НКТП, 1939. 236 с.
- [13] Адамкович Е.С. Химия древесины с основами органической химии. Свердловск; М.: Гослестехиздат, 1936. 203 с.
- [14] Роговин Г.А., Шоригина Н.Н. Химия целлюлозы. М.; Л.: ГХИ, 1953. 678 с.
- [15] Штаудингер Г. Высокомолекулярные органические соединения. Каучук и целлюлоза. Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1935. 554 с.
- [16] Демьянов Н.Я., Прянишников Н.Д.. Общие приемы анализа растительных веществ. М.; Л.: Редакция химической литературы ГОНТИ НКТП, 1934. 340 с.
- [17] Хаулей Л.Ф., Уайз Л.Е. Химия древесины. М.; Л.: ГНТИ Красный печатник, 1931. 250 с.
- [18] Перельгин Л.Н. Древесиноведение. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1949. 375 с.
- [19] Сергеева А.С. Химия древесины и целлюлозы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1954. 139 с.
- [20] Никитин В.М. Химия древесины и целлюлозы. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1951. 496 с.
- [21] Уайз Л., Джан Э. (ред.) Химия древесины. В 2 т. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1959. Т. 1. 608 с. Т. 2. 557 с.
- [22] Фукс В. Химия лигнина. Л.: ОНТИ-Химтеорет, 1936. 368 с.
- [23] Шеттле И.Г. Химия лигнина. М.–Л.: Гос. изд-во легкой пром., 1937. 159 с.
- [24] Тольский П.А. Очерки по химии лигнина. М.; Л.: Гослестехиздат, 1933. 70 с.
- [25] Хеглунд Э. Химия древесины. М.: Гос. лесное техн. изд-во, 1933. 268 с.
- [26] Никитин В.М. Лигин. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1961. 316 с.
- [27] Адлер Е. Новейшие исследования структуры и реакций лигнина // Химия и биохимия лигнина, целлюлозы и гемицеллюлоз: по материалам междунар. симп. в Гренобле. М.: Лесная пром-сть, 1969. С. 36–46.
- [28] Фрейденберг К. К вопросу о химии и биогенезе лигнина // Химия и биохимия лигнина, целлюлозы и гемицеллюлоз: по материалам междунар. симп. в Гренобле. М.: Лесная пром-сть, 1969. С. 3–13.
- [29] Lignin: properties and materials. Eds. W.G. Glasser, S. Sarkanen. Washington: American Chemical Society, 1989, 545 p.
- [30] Физическая химия лигнина / под ред. К.Г. Боголицына, В.В. Лунина. М.: Академкнига, 2010. 489 с.

## Сведения об авторах

**Кононов Георгий Николаевич** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), чл.-корр. РАЕН, ученый секретарь секции «Химия и химическая технология древесины» РХО им. Д.И. Менделеева, [kononov@mgul.ac.ru](mailto:kononov@mgul.ac.ru)

**Зайцев Владислав Дмитриевич** — аспирант МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), [kelertak@bk.ru](mailto:kelertak@bk.ru)

Поступила в редакцию 28.08.2019.

Принята к публикации 15.11.2019.

# WOOD AS A CHEMICAL RAW MATERIAL: ITS HISTORY AND MODERNITY

## I. LIGNOHARBOHYDRATE COMPLEX OF WOOD AS AN OBJECT OF STUDY

G.N. Kononov, V.D. Zaitsev

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

kononov@mgul.ac.ru

The natural history of photosynthetic organisms is enormous. The appearance of the first cyanobacteria that synthesize the simplest carbohydrates, when the first plants reached the land, started more than 2,400 million years ago, which continued 440 million years ago, due to the appearance of lignin in their tissues, led to the appearance of the first gymnosperms about 300 million years ago, and angiosperm woody plants, the descendants of which form the modern dendromovariety of our planet. Many and many millennia have passed since those times when the ancient people used the fire of burning wood as an energy source and, anticipating the invention of the wheel, realized that the trunk of a felled tree was easier to roll than pull, and various products could be made from it. Against this background, the history of the study of lignified plant tissues, primarily woody, looks quite modest. But nevertheless, 200 years have passed since the beginning of the study of cellulose and 180 years of lignin, the main components of the tissues of woody plants, and the most common biopolymers on the surface of the planet Earth. The article is devoted to the history of the study of the components of the lignohydrocarbon complex of woody plants in terms of their structure, functional activity and intermolecular interaction. The issues of studying the main light-absorbing pigments, chlorophylls, due to which the photosynthetic activity of plants leads to the formation of components of the lignoharbohydrate complex of wood, are briefly discussed. The history of the study of cellulose is presented from the moment of its discovery in wood by A. Brakonno in 1818, the structure of lignin from 1838 — the time of its discovery by A. Payen, and hemicellulose from the moment of its introduction into scientific circulation of the term Schulz in 1891. The transformation of ideas about the structure of these components of the lignohydrocarbon complex from simple low-molecular models through oligomeric to complex high-molecular and supramolecular structures of wood matter is presented on the historical background. This article is the first of the scientific and historical series being prepared for publication: II. Anatomy of wood as a factor of its chemical activity. III. Pyrolysis of wood as a method of its processing. IV. Biologically active substances of wood and extraction technologies. V. Hydrolysis of wood as a way to obtain valuable products. VI. Chemical and mechanical processes in the creation of wood construction materials.

**Keywords:** photosynthesis, cellulose, hemicellulose, lignin, lignocarbhydrate complex, timber substance

**Suggested citation:** Kononov G.N., Zaitsev V.D. *Drevesina kak khimicheskoe syr'e: istoriya i sovremennost'. I. Lignouglevodyy kompleks drevesiny kak ob'ekt izucheniya* [Wood as a chemical raw material: its history and modernity. I. Lignoharbohydrate complex of wood as an object of study]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 74–89. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-74-89

## References

- [1] Kononov G.N. *Dendrokhiya. Khimiya, nanokhimiya i biogeokhimiya komponentov kletok, tkaney I organov drevesnykh rasteniy. V 2. [Dendrochemistry. Chemistry, nanochemistry and biogeochemistry of cell components, tissues and organs of woody plants. In 2 v., v. 2].* Moscow: MSFU, 2015, v. 2, 626 p.
- [2] Kononov G.N. *Himiya drevesiny i eyo osnovnykh komponentov* [Chemistry of wood and its main components]. Moscow: MSFU, 2002, 259 p.
- [3] Nerdlinger G. *Tekhnicheskie svoystva drevesiny* [Technical properties of wood]. St. Petersburg: Typ. partnership «Societies benefit», 1868, 444 p.
- [4] Shorygin P.P. *Himiya cellyulozy* [Chemistry Cellulose]. Moscow: Editing chemical literature GONTI NKTP, 1936, 419 p.
- [5] Vanin S.I. *Drevesinovedenie* [Wood science]. Leningrad: Goslestekhzdat, 1934, 548 p.
- [6] Nikitin N.I. *Ocherk po himii drevesiny: s kratkim ocherkom stroeniya drevesiny L.A. Ivanova* [Essay on the chemistry of wood: with a brief sketch of the structure of wood L.A. Ivanova]. Leningrad: Scientific. Chem.-tech. Publisher, State Type of Them. I. Federov, 1926, 197 p.
- [7] Ushakov S.N. *Efiry cellyulozy i plasticheskie massy na ih osnove* [Cellulose ethers and plastics based on them]. Leningrad-Moscow: State scientific and technical publishing house chemical literature, 1941, 504 p.
- [8] Hess K. *Himiya cellyulozy i eyo sputnikov* [Chemistry of cellulose and its satellites]. Leningrad: ONTI-Goskhimtekhhizdat, 1934, 620 p.
- [9] Mark G. *Fizika i himiya cellyulozy* [Physics and chemistry of cellulose]. Leningrad: ONTI Himteoret, 1935, 402 p.
- [10] Vasechkin V.S., Mishin A.D. *Himicheskaya pererabotka drevesiny* [Chemical wood processing]. Sverdlovsk-Moscow: Goslestekhzdat, 1933, 264 p.
- [11] Geysler E. *Himiya cellyulozy* [Cellulose chemistry]. Moscow: Publishing House of the Technical and Economic Council of the paper industry, 1923, 189 p.
- [12] Davankov A.B. *Laboratornye raboty po himii cellyulozy i cellyulozным plastikam* [Laboratory work on the chemistry of cellulose and cellulosic plastics]. Moscow: Editing chemical literature GONTI NKTP, 1939, 236 p.
- [13] Adamkovich E.S. *Himiya drevesiny s osnovami organicheskoy himii* [Chemistry of wood with the basics of organic chemistry]. Sverdlovsk-Moscow. Goslestekhzdat, 1936, 203 p.
- [14] Rogovin G.A., Shorigina N.N. *Himiya cellyulozy* [Cellulose chemistry]. Moscow-Leningrad: GHI, 1953, 678 p.

- [15] Staudinger G. *Vysokomolekulyarnye organicheskie soedineniya. Kauchuk i cellyuloza* [Macromolecular organic compounds. Rubber and cellulose]. Leningrad: ONTI-Chemeheory, 1935, 554 p.
- [16] Demyanov N.Ya., Pryanishnikov N.D. *Obshchie priemy analiza rastitel'nyh veshchestv* [General methods of analysis of plant substances]. Moscow-Leningrad: Editorial chemical literature GONTI NKTP, 1934, 340 p.
- [17] Hauley L.F., Wise L.E. *Himiya drevesiny* [Chemistry of wood]. Moscow-Leningrad.: GNTI Red printer, 1931, 250 p.
- [18] Pereygin L.N. *Drevesinovedenie* [Wood science]. Moscow-Leningrad: State Forest Publishing House, 1949, 375 p.
- [19] Sergeeva A.S. *Himiya drevesiny i cellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow-Leningrad: Goslesbumizdat, 1954, 139 p.
- [20] Nikitin V.M. *Himiya drevesiny i cellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow-Leningrad: State Forest Publishing House, 1951, 496 p.
- [21] *Himiya drevesiny. V 2 tomah* [Chemistry of wood. In 2 volumes]. Eds. L. Wise, E.Jan. Moscow-Leningrad: State Forest Publishing House, 1959, v. 1, 608 p., v. 2, 557 p.
- [22] Fuchs V. *Himiya lignina* [Chemistry of lignin]. Leningrad: ONTI-Chemeheory, 1936, 368 p.
- [23] Schettle I.G. *Himiya lignina* [Chemistry of lignin]. Moscow-Leningrad: State Publishing Light Prom, 1937, 159 p.
- [24] Tolsky P.A. *Ocherki po himii lignina* [Essays on the chemistry of lignin]. Leningrad-Moscow: Goslestekhzdat, 1933, 70 p.
- [25] Heglund E. *Himiya drevesiny* [Wood Chemistry]. Moscow: State. forest tech. publishing house, 1933, 268 p.
- [26] Nikitin V.M. *Lignin* [Lignin] Moscow-Leningrad: State Forest Publishing House, 1961, 316 p.
- [27] Adler E. *Novejshie issledovaniya struktury i reakcij lignina* [Recent studies of the structure and reactions of lignin]. Chemistry and biochemistry of lignin, cellulose and hemicelluloses: according to mat. International Symposium in Grenoble. Moscow: Forest industry, 1969, pp. 36–46.
- [28] Freudenberg K. *K voprosu o himii i biogeneze lignina* [On the issue of chemistry and biogenesis of lignin]. Chemistry and biochemistry of lignin, cellulose and hemicelluloses: based on the materials of the international symposium in Grenoble. Moscow: Forest industry, 1969, pp. 3–13.
- [29] Lignin: properties and materials. Eds. W.G. Glasser, S. Sarkanen, Washington: American Chemical Society, 1989, 545 p.
- [30] *Fizicheskaya himiya lignina* [Physical chemistry of lignin]. Eds. K.G. Bogolitsyn, V.V. Lunin. Moscow: Akademkniga, 2010, 489 p.

## Authors' information

**Kononov Georgiy Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), Corresponding member of the Russian Academy of Natural Sciences, the Scientific secretary of section «Chemistry and engineering chemistry of wood» RHO of D.I. Mendeleev, kononov@mgul.ac.ru

**Zaytsev Vladislav Dmitrievich** — Pg. BMSTU (Mytishchi branch), kelertak@bk.ru

Received 28.08.2019.

Accepted for publication 15.11.2019.

## ТОПЛИВНЫЕ БИОСТИМУЛЯТОРЫ РОСТА СЕЛЬХОЗКУЛЬТУР

М.И. Бабурина<sup>1</sup>, Н.Л. Вострикова<sup>1</sup>, Н.Ю. Зарубин<sup>1</sup>, Н.А. Горбунова<sup>1</sup>,  
А.Н. Иванкин<sup>2</sup>, А.Н. Зенкин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», 109316, г. Москва, ул. Талалихина, д. 26

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

baburina2005@yandex.ru

Рассмотрено использование побочного сырья животного и растительного происхождения — хвойные отходы лесопереработки, птичий помет с сапропелью, жилованную массу крупного рогатого скота, с сухожилиями в виде ферментативного гидролизата и кожуры банана для получения биоорганического удобрения. Проведена сравнительная характеристика качественных показателей органических стимуляторов. Предложена технология получения нехимического, биокомпозиционного стимулятора роста сельскохозяйственных культур с гидролизатами, полученными в результате ферментативной обработки побочного сырья мясной, плодовоовощной и лесоперерабатывающей отраслей промышленности. На основании изучения химического состав компонентов этого сырья показано, что в нем есть все вещества, необходимые для стимуляции роста растений. По данным определения аминокислотного состава в полученном биостимуляторе установлено высокое содержание связанного органического азота, обусловленное наличием активных свободных аминокислот. Химический состав биокомпозиционного стимулятора роста охарактеризован как полноценный — со всеми необходимыми компонентами, активно влияющими на стимуляцию роста растений, по сравнению с птичьим пометом и сапропелью, в частности наличие высокого содержания хорошо усвояемого общего азота, калия и фосфора. На примере семян горчицы доказана эффективность использования разработанного биокомпозиционного органического удобрения. Установлен значительный эффект влияния биостимулятора на скорость образования проросших семян в зависимости от времени выдержки в питательной среде. Приведены данные, свидетельствующие о значительном повышении скорости прорастивания семян вследствие применения разработанного стимулятора по сравнению с известными удобрениями. Выявлен консервирующий эффект действия биостимулятора на рост микрофлоры.

**Ключевые слова:** органические удобрения, стимуляторы роста, сельскохозяйственные растения, побочное сырье, гидролизат, жилованная масса, кожура банана, хвоя ели, ферментативная обработка

**Ссылка для цитирования:** Бабурина М.И., Вострикова Н.Л., Зарубин Н.Ю., Горбунова Н.А., Иванкин А.Н., Зенкин А.Н. Топливные биостимуляторы роста сельхозкультур // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 90–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-90-97

Стратегия научно-технологического развития страны, утвержденная Указом Президента Российской Федерации от 1 декабря 2016 г. № 642 «О Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации» (далее — Стратегия), в качестве приоритетных на ближайшие 10–15 лет определяет такие научно-технологические направления, которые позволят получить высокие научные и технологические результаты для создания технологий, которые послужат основой для инновационного развития внутреннего рынка продуктов и услуг и обеспечат устойчивое положение России на внешних рынках. В Стратегии рассмотрена реализация мер по таким направлениям, как переход к высокопродуктивному и экологически чистому агро- и аквахозяйству, разработка и внедрение систем рационального применения биологической защиты сельскохозяйственных растений и животных, хранение и эффективная переработка сельскохозяйственной продукции, создание безопасных и качественных продуктов питания. В нашей стране и за рубежом имеются научные разработки, позволяющие эффективно решить поставленные задачи [1–10].

Создание устойчивой кормовой базы для животноводства напрямую связано с решением важнейшей проблемы повышения плодородия почв сельскохозяйственных угодий [11–14].

В настоящее время первостепенное значение придается вопросам защиты окружающей среды. К тому же возросла готовность людей ради сохранения природы изменить потребительские привычки и отказаться от определенных удобств. Это коснулось и сельского хозяйства [3, 5, 13]. Одним из возможных решений по выходу из сложившейся экологической ситуации наряду с ограничительными мерами стал переход хозяйств на экологические виды фермерства. Такой переход получил название экологизации земледелия. Речь идет о максимально натуральном производстве, т. е. о лишенных «вредной химии» растениеводстве и животноводстве — минеральные удобрения заменяются органическими, в первую очередь биогумусом [15, 16]. Таким образом можно максимально комплексно решить острые проблемы охраны окружающей среды, создать безотходное производство и воспроизвести плодородие почв, перебазируть хозяйства

на биоземледелие без применения химических удобрений и химических средств защиты культур от сорняков, вредителей и болезней [7].

Одним из основных факторов успешного развития сельского хозяйства признано создание экологически чистых стимуляторов роста для сельскохозяйственных растений, содержащих питательные вещества с высокой усвояемостью, стимулирующих нормальный рост и интенсивное развитие растений [3, 5, 12–16]. Поскольку на перерабатывающих предприятиях различных отраслей АПК Российской Федерации создаются огромные ресурсы ежегодно скапливающихся органических отходов, существует техническая возможность их ресурсоэффективной переработки в биологически активные вещества, которые возможно использовать как основу для стимуляторов роста, предназначенных для сельскохозяйственных растений [1, 12, 14–20]. Применение современных биохимико-технологических способов переработки органических отходов на предприятиях пищевой и перерабатывающей промышленности — с использованием ферментных и микробных препаратов — позволяет рациональнее их перерабатывать в целях улучшения показателей экономической безопасности самих предприятий и городов в целом [18, 20, 21]. Работы в этом направлении активно проводятся в странах Евросоюза, где вопросы экологической безопасности пищевых предприятий вышли на передний план [4, 18–21].

Среди органических отходов можно выделить побочное (вторичное) сырье мясной, плодоовощной и лесной отраслей, которое можно перерабатывать, в частности, в целях получения эффективных органических стимуляторов роста для повышения плодородия почвы и интенсификации роста растений в целом [5, 9, 22, 23].

## Цель работы

Цель настоящей работы — разработка биокомпозиционного стимулятора роста для выращивания сельхозкультур на основе побочного сырья мясной, плодоовощной и лесной отраслей.

## Материалы и методы

В качестве основных объектов исследования использовали следующие:

- органические отходы после первичной переработки крупного рогатого скота (КРС), представленные в виде жилованной массы с сухожилиями;
- гидролизат, полученный из жилованной массы КРС с сухожилиями методом ферментативной обработки [3];
- органические отходы, образующиеся от переработки бананов, а именно их кожура;
- органические отходы лесной отрасли, представленные в виде хвои ели;

– птичий помет и сапропель для сравнительной характеристики качественных показателей органических удобрений.

Прежде всего, был получен гидролизат из непищевой жилованной массы КРС. Для этого жилованную массу (ЖМ) после первичной обработки КРС вымачивали в 5%-м растворе лимонной кислоты в течение 40 мин при соотношении сырья 1:1 и измельчали на волчке с диаметром отверстий 5 мм. После этого проводили ферментативную обработку с использованием ферментного препарата Протепсин с общей протеолитической активностью 150 ед/г. Для ферментативной обработки сырья выбраны параметры:

Концентрация ферментного препарата

«Протепсин» к массе сырья, % ..... 0,1

Продолжительность обработки, ч..... 3

Температура обработки, °С..... 35

Гидромодуль «сырье : вода»..... 1:1

Полученную смесь гидролизата в воде пропустили через ультрафильтрационную установку 5 кДа для концентрирования системы в 2 раза и более полного отделения влаги от фракции гидролизата.

Кожуру бананов (КБ) и хвою ели (ХЕ) обыкновенной также подвергали предварительной обработке — промывали водой и измельчали: кожуру бананов — на куттере в течение 15 мин, а хвою ели — на дробилке-измельчителе до тонкоизмельченного состояния с частицами средним диаметром менее 1 мм. Далее полученную массу кожуры бананов и хвои ели смешивали в соотношении КБ:ХЕ — 50:50. Смесь подвергали ферментативной обработке с использованием ферментного препарата при следующих параметрах:

Продолжительность обработки, ч..... 4

Концентрация ферментного препарата

от массы сырья, % ..... 1

Гидромодуль «вода : сырье» ..... 1:1

После ферментативной обработки смесь подвергали ультрафильтрации для увеличения концентрирования в 2–3 раза. Полученную смесь далее использовали в составе биокомпозиционного стимулятора роста (БСР).

Компоненты, т. е. гидролизат из жилованной массы КРС и растительную смесь (РС) на основе КБ и ХЕ смешивали в соотношении ЖМ : РС — 60:40 на гомогенизаторе при скорости 4000 мин<sup>-1</sup> в течение 25 мин. Полученный БСР высушивали с использованием вакуумной конвективной сушки до содержания массовой доли влаги не более 14 %.

Для исследования физико-химических характеристик стимулятора БСР и образцов сравнения применяли стандартные методы с соответствующей математической обработкой результатов [8, 9].

## Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования изучали химический состав сырья для получения стимулятора роста и сравнивали его характеристики со свойствами наиболее часто применяемых органических удобрений (табл. 1).

Проанализировав данные табл. 1, можно однозначно заключить, что выбранное сырье имеет все необходимые для стимуляции роста растений компоненты. Так, например в жилованной массе КРС содержится большая доля общего азота и калия по сравнению с птичьим пометом и сапропелью. Этот факт позволяет утверждать, что гидролизат на данной основе будет содержать много свободных аминокислот, что, соответственно, обусловит стимулирующий эффект роста растений. Кроме этого, большее содержание калия улучшит состояние биогумуса, что, в частности, будет способствовать повышению плодородия почвы в целом. В случае растительного сырья, наибольшее содержание калия наблюдается в КБ. По значениям массовой доли фосфора и калия, ХЕ была приближена к сапропели.

После предварительной подготовки сырья был составлен БСР на основе гидролизатов из жилованной массы КРС, КБ и ХЕ. Также проводились исследования по изучению химического состава полученной смеси, который характеризует его как органическое удобрение (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что БСР по значениям анализируемых показателей преобладает над их значениями у птичьего помета и сапропели, кроме массовой доли фосфора, наибольшее содержание которого у птичьего помета. Но, несмотря на это, БСР имеет все необходимые компоненты для активного стимулирования роста сельскохозяйственных растений, в частности большее содержание общего азота, что в свою очередь связано со значительным содержанием свободных аминокислот.

Далее проводились исследования по изучению аминокислотного состава и его сопоставление с аминокислотным составом птичьего помета и сапропели (табл. 3).

Аминокислоты необходимы для нормального метаболизма растений, поскольку являются элементами, из которых образуются белки расти-

Т а б л и ц а 1

### Сравнительная характеристика химического состава сырья и наиболее часто используемых видов органических удобрений, % ( $n = 3$ )

Comparative characteristics of the chemical composition of raw materials and the most commonly used types of organic fertilizers, % ( $n = 3$ )

Показатель	Птичий помет	Сапропель	Жилованная масса КРС с сухожилиями	Кожура банана	Хвоя ели обыкновенной
Массовая доля влаги	63,24 ± 1,55	60,53 ± 1,48	65,62 ± 1,54	83,52 ± 2,04	62,12 ± 1,52
Массовая доля сухих веществ	36,76 ± 0,9	39,47 ± 0,97	34,38 ± 0,84	16,48 ± 0,4	37,88 ± 0,93
Содержание общего азота ( $N_{\text{общ}}$ )	2,10 ± 0,05	2,05 ± 0,05	3,68 ± 0,09	0,83 ± 0,02	0,71 ± 0,07
Содержание фосфора, (пересчет на $P_2O_5$ )	1,24 ± 0,03	0,91 ± 0,02	0,41 ± 0,01	0,09 ± 0,002	1,12 ± 0,03
Содержание калия, (пересчет на $K_2O$ )	0,64 ± 0,02	0,35 ± 0,01	0,78 ± 0,03	1,62 ± 0,06	0,27 ± 0,01

Т а б л и ц а 2

### Сравнительная характеристика химического состава стимулятора БСР в сравнении с наиболее часто используемыми видами органических удобрений, % ( $n = 5$ )

Comparative characteristics of the chemical composition of the BDS stimulator in comparison with the most commonly used types of organic fertilizers, % ( $n = 5$ )

Показатель	БСР (сухой)	Птичий помет (термически высушенный)	Сапропель (термически высушенный)
Массовая доля влаги	13,34 ± 0,33	17,46 ± 1,55	16,73 ± 1,48
Массовая доля сухих веществ	86,66 ± 2,12	82,54 ± 2,01	39,47 ± 0,97
Содержание общего азота ( $N_{\text{общ}}$ )	8,84 ± 0,24	4,54 ± 0,13	3,42 ± 0,10
Содержание фосфора, по $P_2O_5$	3,26 ± 0,09	3,91 ± 0,11	2,37 ± 0,06
Содержание калия, по $K_2O$	2,15 ± 0,06	1,74 ± 0,04	1,26 ± 0,03

Т а б л и ц а 3

**Аминокислотный состав стимулятора БСР, птичьего помета и сапропели,  
в расчете на сухое вещество, % ( $n = 3$ )**

Amino acid composition of the BSR stimulator, bird droppings and sapropel, calculated on the dry matter, % ( $n = 3$ )

Аминокислоты	БСР	Птичий помет	Сапропель
Глицин	7,41 ± 0,18	1,21 ± 0,03	0,77 ± 0,02
Аспаргиновая кислота	1,17 ± 0,03	1,04 ± 0,03	0,96 ± 0,03
Глутаминовая кислота	3,03 ± 0,07	1,29 ± 0,03	1,24 ± 0,03
Лизин	1,02 ± 0,03	0,72 ± 0,02	0,45 ± 0,01
Аланин	2,18 ± 0,05	0,75 ± 0,02	0,73 ± 0,02
Лейцин	1,01 ± 0,03	0,61 ± 0,02	0,56 ± 0,02
Валин	0,78 ± 0,02	0,62 ± 0,02	0,68 ± 0,03
Серин	1,74 ± 0,04	0,54 ± 0,01	0,47 ± 0,01
Треонин	1,22 ± 0,03	0,63 ± 0,02	0,59 ± 0,02
Изолейцин	0,60 ± 0,02	0,43 ± 0,01	0,67 ± 0,03
Фенилаланин	0,69 ± 0,02	0,39 ± 0,01	0,55 ± 0,02
Аргинин	1,25 ± 0,03	0,35 ± 0,01	0,53 ± 0,02
Пролин	8,86 ± 0,22	0,33 ± 0,01	0,33 ± 0,01
Тирозин	0,12 ± 0,003	0,19 ± 0,004	0,41 ± 0,01
Гистидин	0,31 ± 0,01	0,16 ± 0,004	0,29 ± 0,01
Цистин	0,14 ± 0,003	0,04 ± 0,001	0,24 ± 0,01
Метионин	0,41 ± 0,01	0,09 ± 0,002	0,27 ± 0,01
Триптофан	0,03 ± 0,001	Следы	Следы

тельных клеток [9]. Наряду с запасными белками, определяющими качество урожая, более важное значение имеют ферменты, вовлеченные в регулирование процессов, происходящих в клетке. Растения способны синтезировать необходимые для них аминокислоты. Однако в период интенсивного роста или в стрессовом состоянии, дополнительное поступление аминокислот извне способствует ускорению метаболических процессов в растениях [2, 3, 5].

Из табл. 3 видно, что БСР содержит все аминокислоты, необходимые для активного прорастания семян растений, в частности лизин, глутаминовую и аспаргиновую кислоту, фенилаланин, метионин, пролин и треонин, причем в более высокой массовой доле по сравнению с птичьим пометом и сапропелью. Указанные аминокислоты отвечают за активный рост семян растений. Их более высокое содержание в биоорганическом удобрении обусловит стимулирующий эффект повышенной интенсивности.

Биокомпозиционный стимулятор роста кроме того содержит глицин и пролин, их массовая доля в среднем в 6–8 раз больше, чем в птичьем помете или сапропели. Это — положительный фактор. Наряду с общим стимулирующим эффектом роста глицин и пролин способствуют развитию тканей, повышению антистрессового воздействия и сопротивляемости осмотическим стрессам, а также улучшению вкусовых качеств растений.

Исследовано влияние БСР на рост растений на примере горчицы (табл. 4, рисунок). Определены ин-

Т а б л и ц а 4

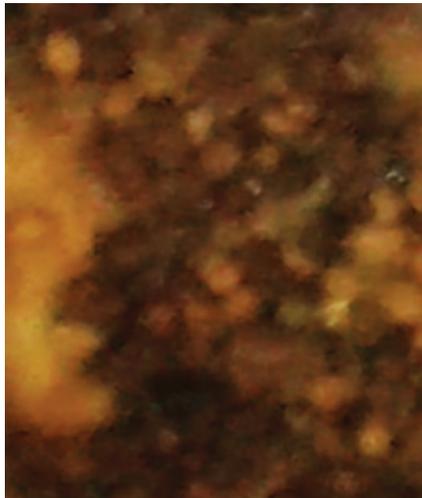
**Проращивание семян в присутствии  
стимулятора роста, % суммы**

Germination of seeds in the presence of growth promoter,  
% of the amount

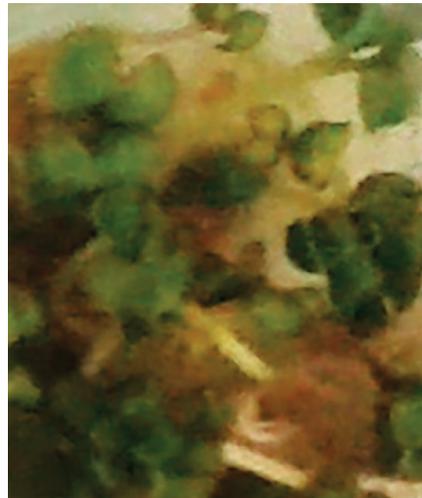
Время, сут	Контроль (вода)	Птичий помет	Сапропель	БСР
1-е	20	30	25	50
2-е	20	45	36	65
3-е	50	55	43	88

тегральные значения эффекта влияния стимулятора на скорость образования проросших семян горчицы, оцениваемого по доли проросших семян в зависимости от времени выдержки в питательной среде.

Из табл. 4 видно, что проращивание семян происходило более интенсивно в среде БСР, в которой при прочих равных условиях содержалось больше свободных аминокислот. Так, в среде БСР, содержащей в своей основе более 70 % достаточно сбалансированной смеси свободных аминокислот, выдержка семян приводила к проращению с большей скоростью по сравнению с птичьим пометом и сапропелью, в которых содержалось около 45 % свободных аминокислот, поэтому и образование ростков при использовании последних происходило в несколько раз медленнее. В этом же БСР содержится больше всего свободного лизина, необходимого для развития растений. На активное проращивание семян также влияют фосфор и калий, содержание которых в БСР также преобладает.



а



б

Эффект проращивания семян горчицы под воздействием стимулятора в течение 3 сут. при температуре воздуха 25 °С, влажности воздуха 90 %: а — водная среда; б — стимулятор

The effect of mustard seeds germination under the influence of a stimulant for 3 days at air temperature 25 °C, air humidity 90 %: а — water medium; б — stimulant

На рисунке представлена визуальная картина проращивания семян горчицы.

Из рисунка видно, что в данном опыте в среде БСР произошло интенсивное образование ростков, в то время как в водной среде проращивания практически не было, а в зоне эксперимента имело место развитие процессов загнивания. В случае использования БСР загнивание семян в целом не наблюдалось, что, возможно, связано с наличием фитонцидов из хвойных добавок в его составе. Аналогичный консервирующий эффект от добавления стимулятора, содержащего кроме питательных веществ еще и компоненты, вызывающие ингибирование развития микрофлоры, наблюдался также в ряде других независимых опытов [3].

## Выводы

Проведенные испытания органических биостимуляторов, разработанных на основе продуктов переработки животного и растительного сырья показали, что наблюдается выраженное влияние на скорость проращивания семян растений и дальнейшее формирование зеленой биомассы. На основании полученных данных можно сделать вывод о более эффективном развитии растений при использовании БСР по сравнению с птичьим пометом и сапропелью.

Эффективность влияния стимуляторов, по-видимому, связана с наличием и свободных аминокислот, и фосфора, и калия, содержащихся в стимуляторе в соотношениях, соответствующих их количественному составу в природных объектах, поскольку исходным сырьем для их по-

лучения служило природное сырье животного и растительного происхождения. Этот факт можно рассматривать как дополнительный экологический 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] 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. Оpubл. 10.08.2016.
- [3] Бабурина М.И., Зарубин Н.Ю., Горбунова Н.А., Иванкин А.Н., Зарубина А.Н., Леонтьев П.К. Биостимуляторы роста растительных клеток // Сб. матер. III Междунар. науч.-практ. конф. «Инновационные исследования и разработки для научного обеспечения производства и хранения экологически безопасной сельскохозяйственной и пищевой продукции» (Краснодар, ВНИИТТИ, 08–19 апр. 2019). Краснодар: ВНИИТТИ, 2019. С. 315–324.
- [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., Шоба С.А., Федотова М.Ф. Разработка стимулятора для повышения посевных качеств семян на основе автолизата дрожжей // *Вестник Московского университета. Сер. 17: Почвоведение*, 2017. № 2. С. 3–12.
- [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., 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-функциональное взаимодействие. 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] Ivankin A.N., Kulikovskii A.V., Vostrikova N.L., Chernuha I.M. Cis and trans conformational changes of bacterial fatty acids in comparison with analogs of animal and vegetable origin // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2014, v. 50, no. 6, pp. 668–674.
- [11] Baburina M.I., Vostrikova N.L., Ivankin A.N., Zenkin A.N. Biochemical conversion of natural lipids // *Theory and practice of meat processing*, 2018, v. 3, no. 3, pp. 12–26.
- [12] Неклюдов А.Д., Иванкин А.Н., Бердугина А.В. Основы биохимической переработки животного и комбинированного сырья. М.: ВНИИМП, 2003. 116 с.
- [13] Коноваленко Л.Ю. Использование кормовых ресурсов леса в животноводстве: науч. аналит. обзор. М.: Росинформтех, 2011. 52 с.
- [14] Зарубин Н.Ю., Бредихина О.В., Краснова И.С., Семенов Г.В. Получение сухих высококачественных рыбных гидролизатов с использованием вакуумной сублимационной сушки // *Вестник Астраханского государственного технического университета. Сер. Рыбное хозяйство*, 2016. № 3. С. 138–144.
- [15] Ivankin A.N., Pandya U., Saraf M. Intensification of aerobic processing of the organic wastes into compost. In: *Composting for Sustainable Agriculture (Ser. Sustainable Development and Biodiversity)*, v. 3 / Ed. D.K. Maheshwari. Amsterdam: Springer, 2014, pp. 23–43.
- [16] Nekliudov A.D., Ivankin A.N. Biochemical processing of fats and oils into new lipid products with improved biological and physico-chemical properties // *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, v. 38, no. 5, pp. 469–481.
- [17] Гуляев Д.К. Фармакогностическое исследование ели обыкновенной, произрастающей в Пермском крае: Автореф. дис. ... канд. фарм. наук: 14.04.02. Пермь, 2016, 25 с.
- [18] Hamid H.A., Abdollah M.F.B, Masripan N.A.B, Hasan R. Characterization of raw and ripen of banana peel wastes and it's oils extraction using soxhlet method // *International Journal of Applied Chemistry*, 2016, v. 12, no. 1, pp. 1–5.
- [19] Khaled A., El-Tarabily K., Sivasithamparam P. Potential of yeasts as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters // *The Mycological Society of Japan and Springer-Verlag Tokyo*, 2006, v. 47, pp. 25–35.
- [20] Mercy S, Mubsira B.S, Jenifer I. Application of different fruit peels formulations as a natural fertilizer for plant growth // *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2014, v.3, no. 1, pp. 300–307.
- [21] Churala P., Sumit D., Sanjit K., Mahato J.V., Prasun K.P., Venkatachalam S.G., Parasuraman J., Tanvir H., Shikhi B., Debjit R., Suparna M.B. Eco-friendly synthesis and study of new plant growth promoters: 3,3-diindolylmethane and its derivatives // *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2007, no. 17, pp. 4924–4928.
- [22] Абдрафиков А., Яхин А., Чернуха Б., Ушакова Н., Бабурина М. Биологическая добавка для свиней // *Комбикорма*, 2004. № 6. С. 51.
- [23] Rodríguez H., Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // *Biotechnology Advances*, 1999, no. 17, pp. 319–339.

## Сведения об авторах

**Бабурина Марина Ивановна** — канд. биол. наук, вед. науч. сотр. ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», baburina2005@yandex.ru

**Вострикова Наталья Леонидовна** — канд. техн. наук, зав. лабораторией ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», nvostrikova@list.ru

**Зарубин Никита Юрьевич** — науч. сотр. ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», zar.nickita@yandex.ru

**Горбунова Наталия Анатольевна** — канд. техн. наук, зав. отд. ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН», n.gorbunova@fneps.ru

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

**Зенкин Александр Николаевич** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана, caf-chem@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 13.06.2019.

Принята к публикации 15.11.2019.

## FUEL BIOSTIMULANTS FOR AGRICULTURE CROP GROWTH

M.I. Baburina<sup>1</sup>, N.L. Vostrikova<sup>1</sup>, N.Yu. Zarubin<sup>1</sup>, N.A. Gorbunova<sup>1</sup>,  
A.N. Ivankin<sup>2</sup>, A.N. Zenkin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, 26, Talalikhina st., 109316, Moscow, Russia

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

baburina2005@yandex.ru

The article describes the use of by-product raw materials of animal and vegetable origin — the trimmed mass of cattle with tendons, banana peel and spruce needles of ordinary for obtaining bio-organic fertilizer. The objects of the study were organic waste in the form of trimmed mass with sinews after primary processing of cattle, enzyme hydrolyzate obtained from it, banana peel waste, coniferous forest waste and sapropel bird droppings for the comparative characteristics of qualitative indicators of organic fertilizers. A technology is proposed for producing a non-chemical, bio-positional growth stimulator for agricultural crops using hydrolysates obtained by enzymatic treatment of a by-product of meat, fruit and vegetable, and timber processing industries. The chemical composition of the raw material was studied and it was shown that the raw material used contains all the necessary components to stimulate plant growth. Based on the data on the determination of the amino acid composition, it was shown that the high content of bound organic nitrogen in the biostimulator obtained is due to the presence of active free amino acids. The chemical composition of the bio-compositional growth stimulator is complete and has all the necessary components, namely, a high content of highly assimilable total nitrogen, potassium and phosphorus, as compared with bird droppings and sapropel, which, in turn, actively influences the growth stimulation agricultural plants. The effectiveness of the use of the developed biocomposite organic fertilizer from natural raw materials to stimulate plant growth has been proved using the example of mustard seeds. A significant effect of the biostimulant on the rate of formation of germinated mustard seeds was established depending on the exposure time in the nutrient medium. The stimulant developed by the speed of seed germination significantly exceeded the known fertilizers. The conservation effect of the biostimulant on microflora growth was also detected.

**Keywords:** organic fertilizers, growth stimulants, agricultural plants, secondary raw materials, hydrolyzate, trimmed mass, banana peel, spruce needles, enzymatic treatment

**Suggested citation:** Baburina M.I., Vostrikova N.L., Zarubin N.Yu., Gorbunova N.A., Ivankin A.N., Zenkin A.N. *Toplivnye biostimulyatory rosta sel'khozkul'tur* [Fuel biostimulants for agriculture crop growth]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 90–97. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-90-97

## 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] 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 choosing the composition of solutions during pre-sowing treatment of seeds of grain crops with stimulant preparations of seed germination]. Pat. No. 2593214 Russian Federation. Publ. 08.10.2016.
- [3] Baburina M.I., Zarubin N.Yu., Gorbunova N.A., Ivankin A.N., Zarubina A.N., Leont'ev P.K. *Biostimulyatory rosta rastitel'nykh kletok* [Biostimulators of plant cell growth]. *Innovatsionnye issledovaniya i razrabotki dlya nauchnogo obespecheniya proizvodstva i khraneniya ekologicheski bezopasnoy sel'skokhozyaystvennoy i pishchevoy produktsii: sb. materialov III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Innovative research and development for scientific support of the production and storage of environmentally friendly agricultural and food products: Sat. materials of the III International scientific and practical conference]. Krasnodar, VNIITTI, April 08–19, 2019. Krasnodar: VNIITTI, 2019, pp. 315–324.
- [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., Shoba S.A., Fedotova M.F. *Razrabotka stimulyatora dlya povysheniya posevnykh kachestv semyan na osnove avtolizata drozhzhey* [Development of a stimulant to improve the sowing quality of seeds based on yeast autolysate]. *Vestnik Moskovskogo universiteta* [Bulletin of Moscow University]. Ser. 17, Pochvovedenie [Soil Science], 2017, no. 2, pp. 3–12.
- [6] Laila K.M., Elbordiny M.M. Apply to potassium 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 TM, Yaqub M., Naeem A. Characterization of the fungi and plants. *Soil Environ*, 2013, v. 32, no. 1, pp. 63–70.
- [8] Neklyudov A.D., Ivankin A.N. *Biologicheski aktivnye soedineniya iz prirodnikh ob'ektov. Svoystva i strukturno-funktsional'noe vzaimosvyazi* [Biologically active compounds from natural objects. Properties and structural and functional relationships]. Moscow: MSFU, 2003, 480 p.
- [9] Ivankin A.N., Neklyudov A.D., Vostrikova N.L. *Biologicheski aktivnye soedineniya prirodnogo proiskhozhdeniya* [Biologically active compounds of natural origin]. Saarbrücken: Lambert Academic Publishing, 2011, 480 p.
- [10] Ivankin A.N., Kulikovskii A.V., Vostrikova N.L., Chernuha I.M. Cis and trans conformational changes in bacterial and in vain origin. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2014, v. 50, no. 6, pp. 668–674.
- [11] Baburina M.I., Vostrikova N.L., Ivankin A.N., Zenkin A.N. Biochemical conversion of natural lipids. Theory and practice of meat processing, 2018, v. 3, no. 3, pp. 12–26.

- [12] Neklyudov A.D., Ivankin A.N., Berdutina A.V. *Osnovy biokhimicheskoy pererabotki zhivotnogo i kombinirovannogo syr'ya* [Basics of biochemical processing of animal and combined raw materials]. Moscow: VNIIMP, 2003, 116 p.
- [13] Konovalenko L.Yu. *Ispol'zovanie kormovykh resursov lesa v zhivotnovodstve: nauch. analit. obzor*. [The use of forest fodder resources in livestock: overview]. Moscow: Rosinformagrotekh, 2011, 52 p.
- [14] Zarubin N.Yu., Bredikhina O.V., Krasnova I.S., Semenov G.V. *Poluchenie sukhikh vysokokachestvennykh rybnykh gidrolizатов s ispol'zovaniem vakuumnoy sublimatsionnoy sushki* [Production of dry high-quality fish hydrolysates using vacuum freeze-drying]. Bulletin of Astrakhan State Technical University (Ser. Fish farm), 2016, no. 3, pp. 138–144.
- [15] Ivankin A.N., Pandya U., Saraf M. Intensification of organic processing was compost. In: *Composting for Sustainable Agriculture (Ser. Sustainable Development and Biodiversity)*, v. 3. Ed. D.K.Maheshwari. Amsterdam: Springer, 2014, pp. 23–43.
- [16] Nekliudov A.D., Ivankin A.N. Biological and chemical properties and chemical properties. *Applied Biochemistry and Microbiology*, 2002, v. 38, no. 5, pp. 469–481.
- [17] Gulyaev D.K. *Farmakognosticheskoe issledovanie eli obyknovnoy, proizrastayushchey v Permskom krae* [Pharmacognostic study of common spruce growing in the Perm Territory]. Abstract Diss. ... Cand. Sci. (Tech.), 14.04.02. Perm, 2016, 25 p.
- [18] Hamid H.A., Abdollah M.F.B., Masripan N.A.B., Hasan R. Characterization of raw and ripen of banana peel wastes and it's oils extraction using soxhlet method. *International Journal of Applied Chemistry*, 2016, v. 12, no. 1, pp. 1–5.
- [19] Khaled A., El-Tarabily K., Sivasithamparam P. Potential of yeasts as biocontrol agents of soil-borne fungal plant pathogens and as plant growth promoters. *The Mycological Society of Japan and Springer-Verlag Tokyo*, 2006, v. 47, pp. 25–35.
- [20] Mercy S, Mubsira B.S, Jenifer I. Application of different fruit peels formulations as a natural fertilizer for plant growth. *International Journal of Scientific & Technology Research*, 2014, v. 3, no. 1, pp. 300–307.
- [21] Churala P., Sumit D., Sanjit K., Mahato J.V., Prasun K.P., Venkatachalam S.G., Parasuraman J., Tanvir H., Shikhi B., Debjit R., Suparna M.B. Eco-friendly synthesis and study of new plant growth promoters: 3,3-diindolylmethane and its derivatives. *Bioorganic & Medicinal Chemistry Letters*, 2007, no. 17, pp. 4924–4928.
- [22] Abdrafikov A., Yakhin A., Chernukha B., Ushakova N., Baburina M. *Biologicheskaya dobavka dlya sviney* [Biological additive for pigs]. *Compound feed*, 2004, no. 6, pp. 51.
- [23] Rodríguez H., Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // *Biotechnology Advances*, 1999, no. 17, pp. 319–339.

## Authors' information

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

**Vostrikova Natalia 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

**Zarubin Nikita Yurievich** — Cand. Sci. (Tech.), Researcher of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, zar.nickita@yandex.ru

**Gorbunova Natalia Anatolievna** — Cand. Sci. (Tech.), Head of the Department of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, n.gorbunova@fncps.ru

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

**Zenkin Aleksandr Nikolaevich** — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), caf-chem@mgul.ac.ru

Received 13.06.2019.

Accepted for publication 15.11.2019.

## ЦИФРОВАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛОВ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

О.М. Полещук, Н.Г. Поярков, Е.В. Замятин

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

Разработан подход к цифровой обработке сигналов на основе интервальных нечетких множеств второго типа, который является оправданным, поскольку без учета неопределенности типа нечеткости возникает проблема при классификации сигналов по условным признакам. Построена функция принадлежности входного отсчета, соответствующего постоянному уровню сигнала, не как кусочно-постоянная с числовыми значениями, а в виде функции принадлежности с интервальными значениями, что позволяет сократить потери исходной информации.

**Ключевые слова:** цифровая обработка сигналов, фильтр нижних частот, нечеткие множества, нечеткая кластеризация

**Ссылка для цитирования:** Полещук О.М., Поярков Н.Г., Замятин Е.В. Цифровая обработка сигналов на основе теории нечетких множеств // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 98–102.  
DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-98-102

Появление первого цифрового коррелятора, изготовленного Г. Синглтоном в 1949 г., послужило началом зарождения такого значащего на сегодняшний день научного направления, как цифровая обработка сигналов.

За последние 70 лет достигнут большой прогресс не только в разработке и производстве микропроцессорной техники, но и в алгоритмах обработки сигналов. Согласно работе [1] термин «обработка сигналов» означает область науки, которая занимается анализом физических процессов, изменяющихся во времени.

### Цель работы

Цель работы — разработка подхода к цифровой обработке сигналов на основе интервальных нечетких множеств второго типа.

### Материалы и методы

В результате широкого применения цифровой обработки сигналов в различных отраслях науки и народного хозяйства, разработано множество фильтров [2], которые решают разнообразные задачи. Проектирование параметров фильтров осуществляется на основе априорной информации — условных признаков, которые можно подразделить на несколько групп. Но различия между группами бывают настолько незначительными, что форма или вид нестационарного сигнала определяются с погрешностью. Тогда классификация сигнала по условным признакам осуществляется на основе нечеткой кластеризации.

Нечетким множеством  $A$  первого типа называют пару

$$(U, \mu_A(u)),$$

где  $U$  — универсальное множество;

$\mu_A(u)$  — функция, определенная на множестве  $U$  и принимающая значение на отрезке  $[0, 1]$ .

Функцию  $\mu_A(u)$  называют функцией принадлежности [3, 8].

Кластеризация — это объединение объектов в группы (кластеры) на основе схожести признаков одной группы и отличий между другими группами. Нечеткие методы кластеризации позволяют одному и тому же объекту принадлежать нескольким кластерам, но с разной степенью принадлежности.

Впервые в работе [4] был предложен цифровой фильтр обработки сигналов на основе нечеткой кластеризации. Данный фильтр получил название нечеткого фильтра.

Положим, что зашумленный сигнал  $x_n$  получен в момент времени  $n$  как сумма желаемого сигнала  $d_n$  и белого гаусового шума. Когда желаемая сигнальная последовательность  $\{d_{n-N}, d_{n-N+1}, \dots, d_{n+N}\}$  принимает форму постоянного сигнала,  $d_n$  оценивается как среднее значение  $x_{n-k}$  для  $-N < k < N$ . Когда требуемая сигнальная последовательность представляет собой импульсный сигнал, состоящий из импульсов разной амплитуды,  $d_n$  оценивается путем усреднения  $x_{n-k}$  для  $k \in K_n$ , где значения  $d_{n-k}$  такое же, как у  $d_n$ . Оценку  $d_n$  в этих двух случаях можно выразить как  $y_n$  с помощью уравнения:

$$y_n = \frac{\sum_{k=-N}^N u(x_{n-k})x_{n-k}}{\sum_{k=-N}^N u(x_{n-k})}, \quad (1)$$

где  $u(x_{n-k})$  — коэффициент, который принимает значение 1, если  $x_{n-k}$  принадлежит входной последовательности постоянного сигнала, которая также включает  $x_n$ , или 0, если  $x_{n-k}$  не принадлежит входной последовательности постоянного сигнала.

Значение  $u(x_{n-k})$  можно легко вычислить:  $u(x_{n-k})$  принимает значение 1, если разность  $|x_{n-k} - x_n|$  достаточно мала, и 0, если разность  $|x_{n-k} - x_n|$  достаточно велика. Однако если значение сигнала изменяется неоднозначно (рис. 1), коэффициент  $u(x_{n-k})$  довольно трудно подобрать, поскольку некоторые разности  $|x_{n-k} - x_n|$  недостаточно велики или малы.

Если форму сигнала нельзя классифицировать как постоянную или импульсную, авторы работы [5] было предложили использовать функцию принадлежности  $\mu(x_{n-k}) \in [0, 1]$ . Таким образом, дисперсию ошибки можно представить в виде:

$$D = \sum_{k=-N}^N \mu(x_{n-k})(x_{n-k} - y_n)^2 \quad (2)$$

где  $\mu(x_{n-k})$  — функция принадлежности, которая представляет, в какой степени входной отсчет  $x_{n-k}$  соответствует постоянному уровню сигнала, соответствующему  $x_n$ .

### Основные понятия

С учетом последних преобразований выражение (1) можно представить как:

$$y_n = \frac{\sum_{k=-N}^N \mu(x_{n-k})x_{n-k}}{\sum_{k=-N}^N \mu(x_{n-k})} \quad (3)$$

В теории нечетких множеств выражение (3) соответствует центру (репрезентативной точке) группы сигналов, классифицированных по нечеткой кластеризации. Используя такую нечеткую кластеризацию, можно получить оценку сигналов с учетом неоднозначных изменений сигнала.

Одним из важных вопросов теории нечетких множеств является построение функций принадлежности. В работе [4] предложили использовать ступенчатую аппроксимацию (рис. 2).

Функция принадлежности  $\mu(x_{n-k})$  в диапазоне  $\varepsilon_j \leq x_{n-k} < \varepsilon_{j+1}$  выражается как  $\mu_j$ . Значение функции принадлежности можно получить с помощью градиентного метода минимизации среднеквадратичной ошибки.

$$\mu(n+1) = \mu_j(n) + \alpha X(n, j)(d_n - y_n), \quad (4)$$

где  $\mu(n+1)$  — значение, полученное при обработке  $n$ -го отсчета;

$\alpha$  — константа, определяющая скорость сближения сигнала  $y_n$  к оптимальному значению;

$$X(n, j) = \frac{\sum_{k \in K(j)} x_{n-k} + N(j)y_n}{\sum \mu_j}, \quad (5)$$

где  $K(j)$  — множество элементов  $k$ , которые удовлетворяют условию  $\varepsilon_j \leq x_{n-k} < \varepsilon_{j+1}$ ;

$N(j)$  — количество элементов множества  $K(j)$ .

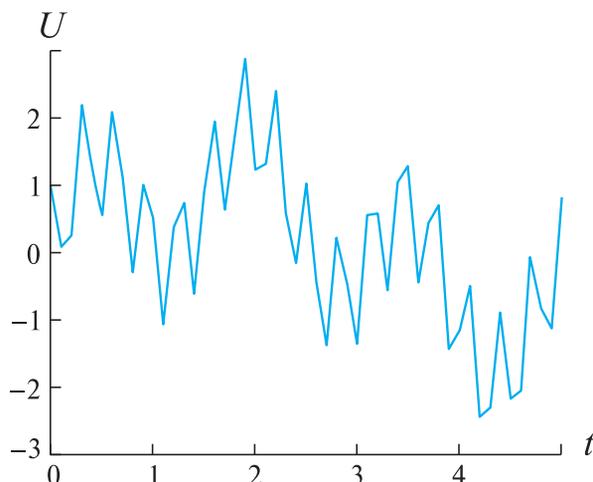


Рис. 1. Неоднозначный сигнал  
Fig. 1. Indoubt signal

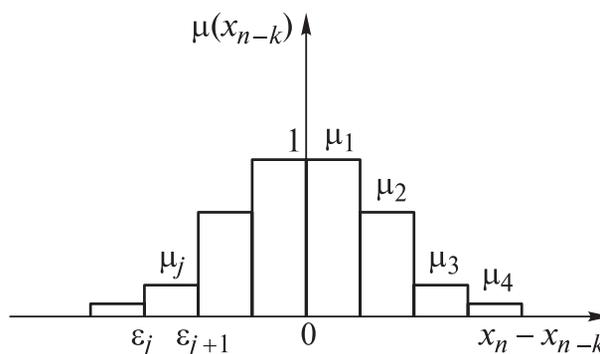


Рис. 2. Ступенчатая аппроксимация функции принадлежности  
Fig. 2. Step approximation of membership function

Как один из параметров функции принадлежности можно рассматривать значение переменной  $k$ . Если  $k$  близко к  $n$ , то вероятность возникновения скачка между двумя соседними отсчетами невелика, если же  $k$  далеко от  $n$ , то скачки между отсчетами могут существовать.

Для обозначения цифрового фильтра, использующего нечеткую кластеризацию, и переменной  $k$  в работе [5] предложили аббревиатуру SF-TF, т. е. Signal Fuzzy — Time Fuzzy — нечеткая кластеризация значений сигнала и нечеткая кластеризация положения отсчетов сигнала во времени.

$$y_n = \frac{\sum_{k=-N}^N \mu(x_{n-k}, k)x_{n-k}}{\sum_{k=-N}^N \mu(x_{n-k}, k)} \quad (6)$$

Использование разностей первого порядка позволяет оценить нарастание или спад сигнала, но не учитывает выпуклость/вогнутость. В работе [6] выдвинуто предложение исполь-

зовать разности второго порядка для оценки изменения формы сигнала относительно выпуклости или вогнутости. Таким образом, реализацию фильтра (6) можно выразить с помощью уравнения:

$$y_n = \frac{\sum_{k=-N}^N \mu(x_{n-k}, k, b)x_{n-k}}{\sum_{k=-N}^N (x_{n-k}, k, b)}, \quad (7)$$

где  $b$  — параметр, характеризующий выпуклость/вогнутость сигнала.

### Постановка задачи и ее решение

Применение нечетких множеств первого порядка давно не устраивало исследователей, поскольку возрастал риск ошибки при неправильном определении числовых значений их функций принадлежности. Для решения этой проблемы были определены нечеткие множества второго типа [7].

Нечетким множеством второго типа называется пара  $\{x, \mu_{\tilde{A}}(x)\}$ ,  $x \in X$ , где значения функции принадлежности  $\mu_{\tilde{A}}(x)$  являются нечеткими множествами первого типа.

Отличие этих множеств от обычных нечетких множеств (которые называют нечеткими множествами первого типа) состоит в том, что значениями их функций принадлежности являются не числа из отрезка  $[0, 1]$ , а нечеткие множества из этого отрезка. Поэтому нечеткие множества второго типа называют неопределенностью неопределенности [8]. Частным случаем нечетких множеств второго типа, широко используемых в практических приложениях, являются интервальные нечеткие множества второго типа [9, 10].

В общем виде интервальное нечеткое множество второго типа определяется нижней (LMF) и верхней (UMF) функциями принадлежности, которые обозначаются соответственно через  $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$ ,  $\overline{\mu}_{\tilde{A}}$  (рис. 3),  $\underline{\mu}_{\tilde{A}} = (a_1^L, a_2^L, a_l^L, a_r^L)$ ,  $\overline{\mu}_{\tilde{A}} = (a_1^U, a_2^U, a_l^U, a_r^U)$ .

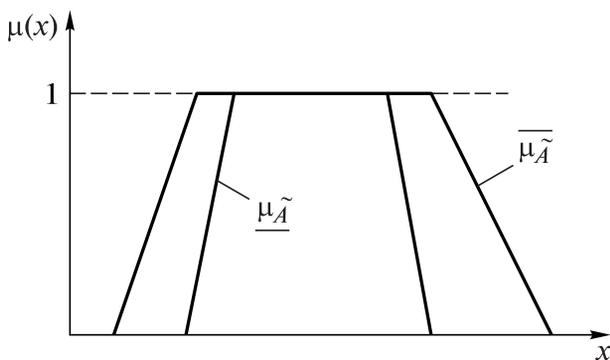


Рис. 3. Интервальное нечеткое множество  $\tilde{A}$  с  $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$  LMF и  $\overline{\mu}_{\tilde{A}}$  UMF

Fig. 3. Interval fuzzy set  $\tilde{A}$  with  $\underline{\mu}_{\tilde{A}}$  LMF and  $\overline{\mu}_{\tilde{A}}$  UMF

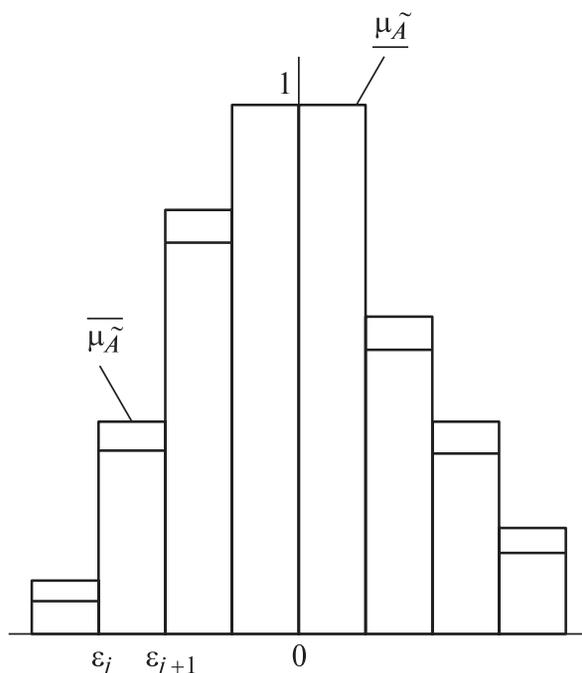


Рис. 4. Аппроксимация функции принадлежности нечеткими множествами второго типа

Fig. 4. Approximation of the membership function by the second type fuzzy sets

Первые два параметра в скобках являются соответственно левой и правой вершинами верхнего основания трапеции, а последние два параметра являются соответственно длинами левого и правого крыльев трапеции.

Отличие этих множеств от нечетких множеств первого типа состоит в том, что значениями их функций принадлежности являются не числа, а интервалы. Это позволяет снизить риск ошибки и не потерять часть исходной информации.

В связи с этим предлагается нечеткое множество, которое представляет, в какой степени входной отсчет  $x_{n-k}$  соответствует постоянному уровню сигнала  $x_n$ , не в виде нечеткого множества первого типа, как показано на рис. 2, а в виде интервального нечеткого множества второго типа, как показано на рис. 4.

Такое представление является объективно оправданным, поскольку в полученной серии измерений значения функции принадлежности могут меняться и соответственно не быть точечным числовым значением.

В этом случае в формуле (7) значения  $\mu(x_{n-k})$  будут являться серединами интервала значений функции принадлежности:

$$\mu(x_{n-k}) = \frac{\overline{\mu}_{\tilde{A}}(x_{n-k}) + \underline{\mu}_{\tilde{A}}(x_{n-k})}{2}, \quad (8)$$

что позволит не потерять часть исходной информации.

Формула (7) приобретает вид

$$y_n = \frac{\sum_{k=-N}^N (\overline{\mu_A}(x_{n-k}, k, b) + \underline{\mu_A}(x_{n-k}, k, b)) x_{n-k}}{\sum_{k=-N}^N (\overline{\mu_A}(x_{n-k}, k, b) + \underline{\mu_A}(x_{n-k}, k, b))}. \quad (9)$$

Тестирование на практических данных показало преимущество предложенного подхода к цифровой фильтрации сигналов на основе интервальных нечетких множеств второго типа, но, несомненно, сам подход требует дальнейших доработок и исследований в связи с отсутствием опубликованных работ по данному актуальному направлению.

## Выводы

Разработанный подход к цифровой обработке сигналов на основе интервальных нечетких множеств второго типа является оправданным, поскольку без учета неопределенности типа нечеткости возникает проблема с классификацией сигналов по условным признакам. Функция принадлежности входного отсчета, соответствующего постоянному уровню сигнала, строится не кусочно-постоянной с числовыми значениями (то есть функцией принадлежности нечеткого множества первого типа), а в виде функции принадлежности, значениями которой являются интервалы (то есть функции принадлежности интервального нечеткого множества второго типа). Подобное представление позволяет сократить потери исходной информации. Распознавание конечных результатов происходит на основе метода центра тяжести. Тестирование на практических данных показало преимущество предложенного подхода, но, несомненно, сам подход требует дальнейших доработок и исследований.

## Список литературы

- [1] Лайонс Р. Цифровая обработка сигналов. М.: Бинном-Пресс, 2006. 656 с.
- [2] Джиган В.И. Адаптивная фильтрация сигналов: теория и алгоритмы. М.: Техносфера, 2013. С. 505–520.
- [3] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing // Studies in Fuzziness and Soft Computing, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [4] Arakawa K., Arakawa Y. Digital signal processing using fuzzy clustering // Special Issue on Hakone Digital Signal

- Processing Symposium. IEICE Transactions, 1991, v. E74 (11), pp. 3554–3558.
- [5] Arakawa K., Arakawa Y. Digital signal processing using fuzzy clustering for nonstationary signal // Proceedings of international Fuzzy Engineering Symposium. Fuzzy Engineering toward. Human Friendly Systems, 1991, v. 2, pp. 877–888.
- [6] Вешкурцев Ю.М., Бычков Е.Д., Титов Д.А. Цифровой фильтр на основе теории нечетких множеств с адаптивно изменяемыми функциями принадлежности // Известия вузов России. Сер. Радиоэлектроника, 2007. Вып. 2. С. 43–50.
- [7] Liu F., Mendel J.M. Encoding words into interval type-2 fuzzy sets using an interval approach // IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 2008, v. 16, no. 6, pp. 1503–1521.
- [8] Poleshchuk O., Komarov E. A fuzzy linear regression model for interval type-2 fuzzy sets // Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society — NAFIPS'2012, Berkeley, California, August 6–8, 2012. DOI: 10.1109/NAFIPS.2012.6290970.
- [9] Полещук О.М., Комаров Е.Г. Формализация групповой экспертной информации на основе интервальных нечетких множеств второго типа // Тр. XVII Междунар. конф. по мягким вычислениям и измерениям (SCM'2014), Санкт-Петербург, 21–23 мая 2014. С.-Петербург: СПбГУИТУ, 2014, С. 38–41.
- [10] Darwish A., Poleshchuk O., Komarov E. A new fuzzy linear regression model for a special case of interval type-2 fuzzy sets // Applied Mathematics & Information Sciences, 2016, v. 10, no. 3, pp. 1209–1214. DOI: 10.18576/amis/100340
- [11] Уидроу Б., Стирнз С. Адаптивная обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1989. 440 с.
- [12] Widrow B., Glover-Jr. J.R., McCool J.M. Adaptive Noise Cancelling: Principles and Applications // IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing, 1975, v. 63, no. 12, pp. 1692–1716.
- [13] Гольденберг Л. М., Матюшкин Б. Д., Поляк М. Н. Цифровая обработка сигналов. М.: Радио и связь, 1990. 256 с.
- [14] Аверкин А.Н., Батыршин И.З., Блишун А.Ф. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / под ред. Д.А. Поспелова. М.: Наука, 1986. 312 с.
- [15] Rajala S.A., De Figueiredo R.J.P. Adaptive nonlinear image restoration by a modified Kalman filtering approach // IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing, 1981, v. ASSP-29, pp. 1033–1042.
- [16] Harashima H., Odajima K., Shishkui Y., Miyakawa H. e-separating nonlinear digital filter and its applications // Trans. IECE Japan, 1982, v. J65-A, no. 4, pp. 297–304.
- [17] Pomalaza-Raez C.A., McGillem C.D. An adaptive, nonlinear edge-preserving filter // IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing, 1984, v. ASSP-32, no. 3, pp. 571–576.
- [18] Van Trees H.L. Detection, Estimation, and Modulation Theory. N.Y.; London: John Wiley and Sons, p. 3358.
- [19] Bezdek J.C. Partition structure: a tutorial // Analysis of Fuzzy Information, 1987, v. III, pp. 81–108.
- [20] Widrow B., Glover J.R., McCool J.M., Kaunitz J., Williams C.S., Heam R.H., Zeidler J.R., Dong E., Goodlin R.C. Adaptive Noise Cancelling: Principles and Applications // IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing, 1975, v. 63, no. 12, pp. 1692–1716.

## Сведения об авторах

**Полещук Ольга Митрофановна** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой «Высшая математика и физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poleshchuk@mgul.ac.ru

**Поляков Николай Геннадьевич** — канд. техн. наук, декан Космического факультета МГТУ им. Н.Э. Баумана, (Мытищинский филиал), polyakov@mgul.ac.ru

**Замятин Евгений Валерьевич** — аспирант кафедры «Высшая математика и физика» МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал)

Поступила в редакцию 12.11.2019.

Принята к публикации 18.12.2019.

## DIGITAL SIGNAL PROCESSING BASED ON FUZZY SET THEORY

O.M. Poleshchuk, N.G. Poyarkov, E.V. Zamyatin

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

poleshchuk@mgul.ac.ru

The paper proposes an approach to digital signal processing based on interval fuzzy sets of the second type. The approach is justified, because without taking into account the uncertainty of the type of fuzziness, there is a problem with the classification of signals by conditional features. The membership function of the input reference corresponding to the constant signal level is constructed not piecewise constant with numerical values, but as a membership function with interval values, which allows to reduce the loss of initial information.

**Keywords:** digital signal processing, low-pass filter, fuzzy sets, fuzzy clustering.

**Suggested citation:** Poleshchuk O.M., Poyarkov N.G., Zamyatin E.V. *Tsifrovaya obrabotka signalov na osnove teorii nechetkikh mnozhestv* [Digital signal processing based on fuzzy set theory]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 98–102. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-98-102

## References

- [1] Layons R. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. Moscow: Binom-Press, 2006, 656 p.
- [2] Dzhigan V.I. *Adaptivnaya fil'tratsiya signalov: teoriya i algoritmy* [Adaptive signal filtering: theory and algorithms]. Moscow: Tekhnosfera, 2013, pp. 505–520.
- [3] Poleshchuk O., Komarov E. Expert Fuzzy Information Processing. *Studies in Fuzziness and Soft Computing*, 2011, v. 268, pp. 1–239.
- [4] Arakawa K., Arakawa Y. Digital signal processing using fuzzy clustering. Special Issue on Hakone Digital Signal Processing Symposium. *IEICE Transactions*, 1991, v. E74 (11), pp. 3554–3558.
- [5] Arakawa K., Arakawa Y. Digital signal processing using fuzzy clustering for nonstationary signal. *Proceedings of international Fuzzy Engineering Symposium. Fuzzy Engineering toward. Human Friendly Systems*, 1991, v. 2, pp. 877–888.
- [6] Veshkurtsev Yu.M., Bychkov E.D., Titov D.A. *Tsifrovoy fil'tr na osnove teorii nechetkikh mnozhestv s adaptivno izmenyaemyimi funktsiyami prinadlezhnosti* [A digital filter based on the theory of fuzzy sets with adaptively variable membership functions] *Izvestiya vuzov Rossii. Radioelektronika* [News of Russian Universities. Radioelectronics], 2007, iss. 2, pp. 43–50.
- [7] Liu F., Mendel J.M. Encoding words into interval type-2 fuzzy sets using an interval approach. *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 2008, v. 16, no. 6, pp. 1503–1521.
- [8] Poleshchuk O., Komarov E. A fuzzy linear regression model for interval type-2 fuzzy sets. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2012, Berkeley, California, August 6–8, 2012. DOI: 10.1109/NAFIPS.2012.6290970.
- [9] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. *Formalizatsiya gruppovoy ekspertnoy informatsii na osnove interval'nykh nechetkikh mnozhestv vtorogo tipa* [Formalization of group expert information based on interval fuzzy sets of the second type]. *Trudy XVII Mezhdunarodnoy konferentsii po myagkim vychisleniyam i izmereniyam (SCM'2014)* [Proceedings of the XVII International Conference on Soft Computing and Measurements (SCM'2014)], St. Petersburg, 2014, pp. 38–41.
- [10] Darwish A., Poleshchuk O., Komarov E. A new fuzzy linear regression model for a special case of interval type-2 fuzzy sets. *Applied Mathematics & Information Sciences*, 2016, v. 10, no. 3, pp. 1209–1214. DOI:10.18576/amis/100340
- [11] Uidrou B., Stirnz S. *Adaptivnaya obrabotka signalov* [Adaptive signal processing]. Moscow: Radio i svyaz', 1989, 440 p.
- [12] Widrow B., Glover-Jr. J.R., McCool J.M. Adaptive Noise Cancelling: Principles and Applications. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, 1975, v. 63, no. 12, pp. 1692–1716.
- [13] Gol'denberg L. M., Matyushkin B. D., Polyak M. N. *Tsifrovaya obrabotka signalov* [Digital signal processing]. Moscow: Radio i svyaz', 1990, 256 p.
- [14] Averkin A.N., Batyrrshin I.Z., Blishun A.F. *Nechetkie mnozhestva v modelyakh upravleniya i iskusstvennogo intellekta* [Fuzzy sets in control and artificial intelligence models]. Ed. D.A. Pospelov. Moscow: Nauka, 1986, 312 p.
- [15] Rajala S.A., De Figueiredo R.J.P. Adaptive nonlinear image restoration by a modified Kalman filtering approach. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, 1981, v. ASSP-29, pp. 1033–1042.
- [16] Harashima H., Odajima K., Shishkui Y., Miyakawa H.  $\varepsilon$ -separating nonlinear digital filter and its applications. *Trans. IECE Japan*, 1982, v. J65-A, no. 4, pp. 297–304.
- [17] Pomalaza-Raez C.A., McGillem C.D. An adaptive, nonlinear edge-preserving filter. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, 1984, v. ASSP-32, no. 3, pp. 571–576.
- [18] Van Trees H.L. *Detection, Estimation, and Modulation Theory*. New York, London: John Wiley and Sons, p. 3358.
- [19] Bezdek J.C. Partition structure: a tutorial. *Analysis of Fuzzy Information*, 1987, v. III, pp. 81–108.
- [20] Widrow B., Glover J.R., McCool J.M., Kaunitz J., Williams C.S., Hearn R.H., Zeidler J.R., Dong E., Goodlin R.C. Adaptive Noise Cancelling: Principles and Applications. *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Processing*, 1975, v. 63, no. 12, pp. 1692–1716.

## Authors' information

**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna** — Dr. Sci. (Tech.), Professor, Head of Higher Mathematics and Physics Department of the BMSTU (Mytishchi branch), poleshchuk@mgul.ac.ru

**Poyarkov Nikolay Gennad'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Head of Space Department of the BMSTU (Mytishchi branch), poyarkov@mgul.ac.ru

**Zamyatin Evgeniy Valer'evich** — Postgraduate of the BMSTU (Mytishchi branch)

Received 12.11.2019.

Accepted for publication 18.12.2019.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ИССЛЕДОВАНИЙ ПРОЦЕССОВ СМЕШЕНИЯ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА В ЭНЕРГОДВИГАТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

В.В. Лозовецкий<sup>1</sup>, Е.Г. Комаров<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» (НИУ МГСУ), 129337, г. Москва, Ярославское ш., д. 26

fuzzykom@gmail.com

Представлены результаты анализа теоретических и экспериментальных исследований форсунок различного типа и конструкций, предназначенных для смешения топливных компонентов. Показано, что используемые в настоящее время однокомпонентные струйные и центробежные форсунки не обеспечивают требуемое качество смешения, что приводит к невысокой полноте сгорания топлива. Применение форсунок с компланарными каналами для распыливания топливной смеси в камерах сгорания двигателей транспортных средств повышает их экономичность за счет снижения гидравлических потерь в топливоподающей системе и оптимальной структуры подаваемой топливной смеси. Рассмотрены экспериментальные исследования, в которых обоснована возможность создания высокоэффективной форсунки внутреннего смешения с компланарными каналами с низким уровнем гидравлических потерь. Разработаны конструкторские решения двухкомпонентной форсунки внутреннего смешения с компланарными каналами. Полученные результаты позволяют прогнозировать и определять оптимальные параметры данной форсунки.

**Ключевые слова:** транспортные средства, двигатель, топливо, форсунка, компланарный канал, смешение, камера сгорания

**Ссылка для цитирования:** Лозовецкий В.В., Комаров Е.Г., Черкина В.М. Аналитический обзор исследований процессов смешения компонентов топлива в энергодвигательных установках // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 103–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-103-110

Важным фактором, определяющим характеристики энергетических и силовых установок транспортных средств различного назначения, является полнота сгорания топлива, величина которой в значительной степени зависит от эффективности процесса смешения компонентов топливной смеси, подаваемой в камеру сгорания. К таким характеристикам относятся мощность, а в энергодвигательных установках космических объектов — тяга и удельный импульс двигателя. Один из основных технических способов их повышения заключается в правильном выборе конструкции и характеристик форсунок как основных элементов распыливающих и впрыскивающих устройств [1].

Процессы, одновременно протекающие в камерах сгорания, должны обеспечить быстрое и полное сгорание топлива, что достигается при его равномерном распределении по соотношению компонентов и расходонапряженности, создавая гидродинамические условия в камере сгорания, при которых компоненты будут как можно быстрее вступать в реакцию горения. В настоящее время широко известны различные типы струйных, центробежных одно- и двухкомпонентных форсунок, каждый из которых имеет свои преимущества, недостатки и область применения [2].

### Цель работы

Цель работы — анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований форсу-

нок различного типа и конструкций, предназначенных для смешения топливных компонентов.

### Материалы и методы

В жидкостных ракетных двигателях (ЖРД) широко применяются два типа форсунок: струйные и центробежные.

Производительность струйной форсунки рассчитывают [2] по формуле

$$\dot{m}_\phi = \mu_\phi F_{с.ф} \sqrt{2\rho_\phi \Delta p_\phi}, \quad (1)$$

где  $\mu_\phi$  — коэффициент расхода форсунки;

$F_{с.ф}$  — площадь сопла форсунки;

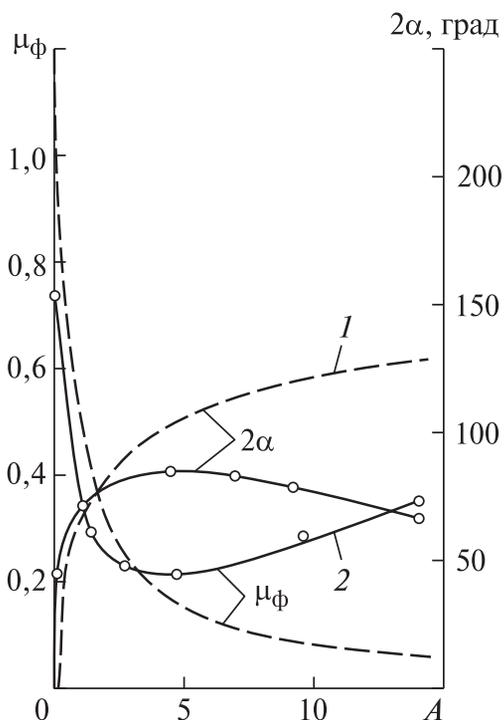
$\rho_\phi$  — плотность топлива;

$\Delta p$  — перепад давления на форсунке.

Конструкция струйных форсунок проста, как проста и технология их изготовления (рис. 1) [2].

Струйные форсунки создают относительно оптимальные условия для образования смеси компонентов топлива и его полное сгорание в минимальном объеме камеры сгорания. В работе [2] отмечено, что улучшить качество смесеобразования можно с помощью столкновения струекомпонентов топлива, подаваемого в камеру сгорания несколькими форсунками, расположенными на ее входе, поскольку ударное взаимодействие струи с последующим ее разрушением о специальную ударную поверхность признано эффективным.

Форсунки такого типа широко используются в зарубежных ЖРД с самовоспламеняющимися



**Рис. 1.** Зависимость коэффициента расхода  $\mu_\phi$  и угла  $2\alpha$  распыливания от геометрической характеристики  $A$  для струйных форсунок с разными значениями величины плеча закручивания  $R$ : 1 — для идеальной жидкости; 2 — для вязкой жидкости

**Fig. 1.** Dependence of the flow coefficient  $\mu_\phi$  and the spray angle  $2\alpha$  on the geometric characteristic  $A$  for jet nozzles with different values of the twisting lever  $R$ : 1 — for an ideal fluid; 2 — for a viscous liquid

компонентами топлива. В этом случае не требуется тонкого распыла топлива. В ЖРД с малыми поперечными сечениями камер сгорания возникают трудности с расположением требуемого количества центробежных форсунок на их головках, поэтому струйные форсунок с большим значением коэффициента расхода  $\mu_\phi$  подают большую массу топлива при допустимых гидравлических потерях  $\Delta p_\phi$  [2].

Центробежные форсунок, по сравнению со струйными, имеют более сложную конструкцию, приводящую к повышенным гидравлическим потерям и, как следствие, к меньшей подаче топливных компонентов. По принципу действия они различаются методом смешения: внешним и внутренним.

Центробежные форсунок отличаются от форсунок других типов тем, что жидкой компоненте, протекающей по тангенциальным каналам, сообщается момент количества движения относительно сопла, что приводит к интенсивному вращению в камере. При выходе из сопла жидкость образует утончающуюся по мере движения пленку, представляющую собой полый конус (рис. 2) [1, 3, 4].

Эта пленка теряет устойчивость и распадается на капли [2]. В то же время центробежным форсунок присущи следующие положительные качества [3, 5, 6]:

- под действием центробежных сил на выходе из сопла образуется тонкая конусообразная пленка, или пелена, с большим углом распыла, которая дробится на капли, что значительно улучшается качество смесеобразование топливных компонентов и способствует повышению полноты сгорания;
- внутри форсунок происходит закручивание жидкости, что способствует высокой турбулизации и смешению компонентов топлива до истечения из форсунок;
- в форсунке образуется сравнительно однородная смесь, впрыскиваемая за счет разности давления на выходе из форсунок и в камере сгорания, где происходят ее распыление, испарение, смешение и горение с повышенной полнотой сгорания.

Краткий обзор струйных и центробежных форсунок свидетельствует о накоплении к настоящему времени значительного теоретического материала и практического опыта по способам распыливания топливных компонентов, их смешения и сжигания с высокой степенью полноты: созданы разнообразные распылительно-смесительные конструктивные узлы — форсунок, отличающиеся хорошими расходными характеристиками, качеством распыливания и смесеобразования, достаточно низкими перепадами давления [1, 2, 7–9]. Тем не менее, нужны новые конструкции форсунок, которые обеспечивали бы дальнейшее повышение экономичности двигателей, уменьшение вредных выбросов в атмосферу, возможно, вследствие использования обедненных смесей в целях снижения выбросов оксидов углерода и азота для углеродных и водородных видов топлива, с учетом того, что в обедненных смесях устойчивость горения напрямую зависит от качества смешения [10, 11].

Разработка новых конструкций для смешения топлива требуется в связи с интенсивным применением разнообразных видов биологического топлива, использование которых, а также соевых масел, в дизельных двигателях приводит к высоким значениям эмиссий угарного газа и оксидов азота. Уровень их эмиссии удастся снизить путем улучшения процессов смесеобразования [12, 13].

Постоянное стремление увеличить полноту сгорания топлива при малых перепадах давления на форсунке вынуждает конструкторов разрабатывать новые типы форсунок, например, с компланарными каналами [1, 14]. Конструкции трактов в них могут быть неограниченными и располагаться на цилиндрической поверхности симметричной

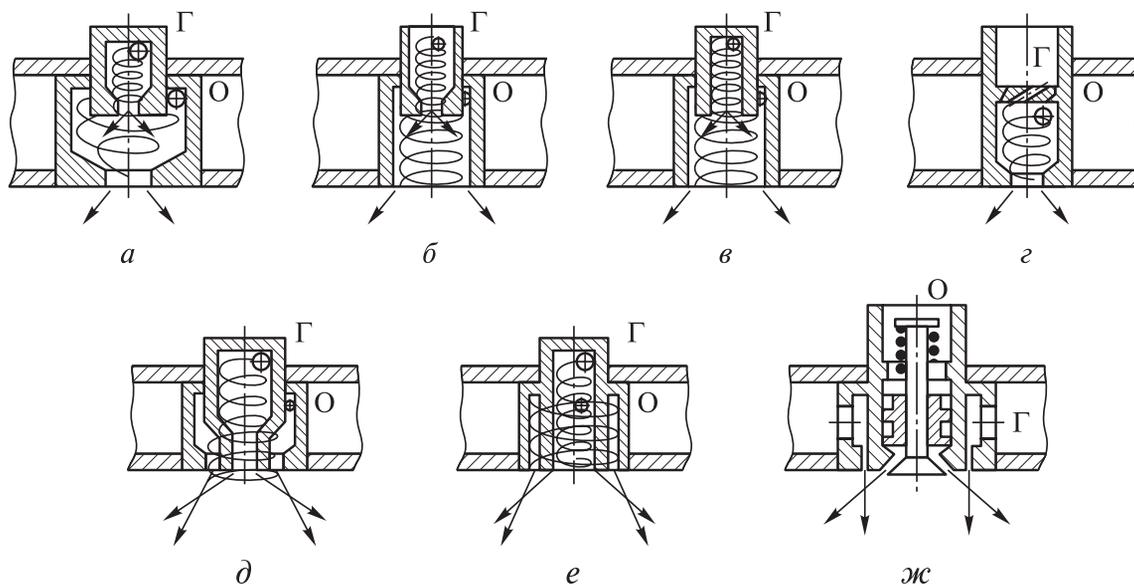


Рис. 2. Двухкомпонентные форсунки с внешним (а-з) и внутренним (д-жс) смешением: Г — горючее, О — окислитель  
 Fig. 2. Two-component nozzles with external (a-z) and internal (d-zh) mixing: Г — fuel, О — oxidizing agent

оси (рис. 3) или ограниченными в поперечном направлении с одним или несколькими поворотами у боковых ограничивающих стенок, что способствует изменению структуры потока компонентов и росту коэффициента теплообмена вдоль канала. Применение скрещивающихся компланарных каналов, образованных винтовыми параллельными ребрами на противоположных оболочках, является одним из способов формирования трактов, в которых реализуется турбулентный режим течения одно- и двухфазных жидкостей при сравнительно небольших потерях давления и росте коэффициента теплообмена [1, 3, 5, 15].

Тракты с компланарными каналами интенсифицируют массообмен и теплоотдачу с помощью взаимной подкрутки струй и турбулизации потока даже при малых значениях чисел Рейнольдса. Данные о применении их в газожидкостных форсунках внутреннего смешения отсутствуют, хотя они представляют большой практический интерес [1].

В компланарных каналах даже при малых величинах скорости движения топлива и незначительных перепадах давления возникает высокая турбулизация потока, способствующая интенсивному смешению компонентов топливной смеси, повышению эффективности процессов смесеобразования и полноты сгорания топлива. Это приводит к формированию условий для разработки высокоэкономичной камеры сгорания для двигателей транспортных средств с высокой энергетической и экономической эффективностью, низкими гидравлическими потерями и повышенной экологической безопасностью [3, 5, 16].

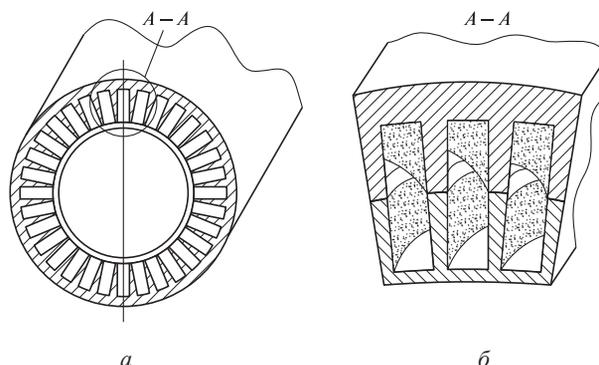


Рис. 3. Схема тракта цилиндрической формы с компланарными каналами (а); б — элемент схемы  
 Fig. 3. Scheme of a cylindrical path with coplanar channels (a); б — circuit element

Достижение высокой полноты сгорания топлива всецело зависит от качества его дробления на мелкие капли и от равномерности смешения в камере сгорания двигателей компонентов топливной смеси, разнородных по химическим свойствам и агрегатному состоянию. Решение этих проблем возможно в результате разработки соответствующего конструктивного оформления генерирующих струи устройств (форсунок) и оптимального пространственного распределения распыленного топлива в объеме камеры сгорания.

Применительно к конструкциям форсунок горелок и других теплогенерирующих систем, с помощью которых, как правило, и осуществляется подача топлива, наиболее перспективны, на наш взгляд, вихревые тракты с компланарными каналами [17, 18]. Их использование способствует

уменьшению объема камеры сгорания и времени пребывания в ней топлива за счет смесеобразования непосредственно в форсунке с внутренним смешением компонентов [1]. Другие типы вихревых трактов, в частности тракты с искусственными шероховатостями или тракты с лунками либо полости с тангенциальным впрыском уже широко апробированы и не дают заметного повышения эффективности [1, 3, 5, 12].

Исследование полноты сгорания топлива в камерах сгорания с использованием форсунок с компланарными каналами подробно выполнено в работе [3] на экспериментальной термодинамической установке. Установка представляет собой модель системы подачи топлива, отвечающую известным из теории моделирования требованиям подобия: геометрического, кинематического и динамического [19]. В ней обеспечивается требуемое время нахождения каждой порции топлива и продуктов, а его сгорание исчисляется секундами и миллисекундами. За это время топливо сгорает настолько возможно полнее, поскольку несгоревшее топливо — это потеря тяги и удельного импульса. Удельный импульс давления или расходный комплекс  $\beta_\Sigma$  используется для оценки полноты сгорания топлива и позволяет оценить совокупный рабочий процесс в камере сгорания и сопле, включая несовершенства, учитываемые характеристической скоростью, потери полного давления потока, кажущееся снижение проходных сечений и др.

Экспериментальное значение расходного комплекса было определено [3, 5, 12] по формуле

$$\beta_\Sigma = p_k \frac{F_{кр}}{m_\Sigma}, \quad (2)$$

где  $m_\Sigma = m_{ок} + m_t$  — суммарный расход окислителя и топлива, кг/с;

$m_{ок}$  — расход окислителя, кг/с;

$p_k$  — давление в камере сгорания, Па;

$m_t$  — расход топлива, кг/с;

$F_{кр}$  — площадь критического сечения камеры сгорания.

Теоретическое значение расходного комплекса  $\beta_t$  было определено с помощью термодинамического расчета и учитывая потери на водяное охлаждение [20].

Основным параметром, характеризующим совершенство рабочего процесса в камере сгорания, является коэффициент удельного импульса камеры —  $\varphi_\beta$ , который рассчитан [1] по зависимости

$$\varphi_\beta = \frac{\beta_\Sigma}{\beta_t}. \quad (3)$$

Рост  $\varphi_\beta$  приводит к более равномерному распределению компонентов топлива по объему камеры сгорания и полноте его использования.

## Результаты и обсуждение

Экспериментальные исследования показали, что число парных каналов  $N$  и угол  $2\beta$  (угол взаимного пересечения компланарных каналов, рад) их взаимного пересечения оказывают существенное влияние на качество рабочего процесса (рис. 4) [1, 3]. Коэффициент камеры характеризует равномерность распределения термодинамических параметров (температуры, давления, скорости) потока по сечению камеры.

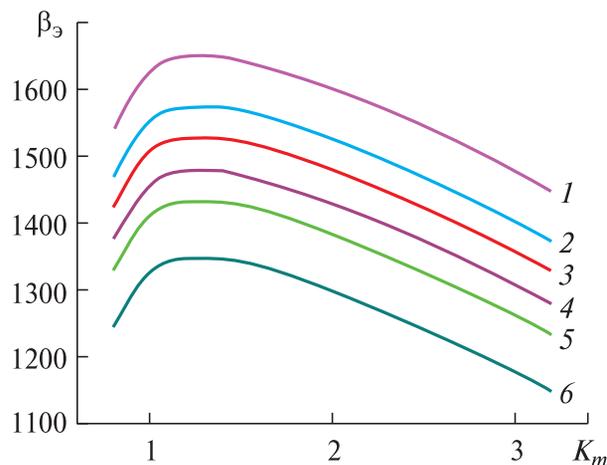


Рис. 4. Зависимость экспериментального значения расходного комплекса  $\beta_\Sigma$  от соотношения компонентов топлива  $K_m$  при различных значениях угла  $2\beta$  и числа каналов  $N$ : 1 —  $N = 17$ ,  $2\beta = 60$ ; 2 —  $N = 10$ ,  $2\beta = 110$ ; 3 —  $N = 10$ ,  $2\beta = 90$ ; 4 —  $N = 10$ ,  $2\beta = 60$ ; 5 —  $N = 6$ ,  $2\beta = 60$ ; 6 — центробежная

Fig. 4. The dependence of the experimental value of the consumption complex  $\beta_\Sigma$  on the ratio of the fuel components  $K_m$  for various values of the angle  $2\beta$  and the number of channels  $N$ : 1 —  $N = 17$ ,  $2\beta = 60$ ; 2 —  $N = 10$ ,  $2\beta = 110$ ; 3 —  $N = 10$ ,  $2\beta = 90$ ; 4 —  $N = 10$ ,  $2\beta = 60$ ; 5 —  $N = 6$ ,  $2\beta = 60$ ; 6 — centrifugal

Результаты проведенных исследований свидетельствуют об увеличении коэффициента камеры с 0,88 до 0,96 (см. рис. 4). Увеличение числа входных каналов  $N$  способствует образованию более симметричного течения жидкости в камере закручивания, снижает неравномерность распределения жидкости в факеле, уменьшает склонность к возникновению неустойчивого горения.

На рис. 5 показана зависимость расхода двухфазной жидкости при переменном перепаде давления на форсунке и постоянном расходе жидкости (воды) при различных значениях угла взаимного пересечения каналов и разном их числе [3]. Из рис. 5 следует, что при постоянной величине перепада давления на форсунке увеличение числа компланарных каналов, при прочих равных условиях, способствует росту расхода, а, следовательно, и тяги двигателя.

В целях более наглядного представления преимуществ форсунок с компланарными каналами проведено сравнение величины перепадов давления на них с перепадами давления на вихревых форсунках с внутренним смешением (рис. 6) в виде зависимостей —  $\Delta p_\phi = f(m_\phi)$ . Перепад на форсунках с компланарными каналами определялся по данным рис 5, а на центробежных форсунках — по зависимости

$$\Delta p_\phi = \frac{m_\phi^2}{2\rho_\tau \mu_\phi^2 F_{c,\phi}^2}, \quad (4)$$

где  $d_{c,\phi} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$  — диаметр сопла центробежной форсунки;

$\mu_\phi = 0,25$  — коэффициент расхода форсунки (см. рис. 1);

$\rho_\tau = \frac{\rho_o \rho_\Gamma (1 + K_m)}{\rho_o + K_m \rho_\Gamma}$  — плотность топлива;

$$F_{c,\phi} = \frac{\pi d_{c,\phi}^2}{4}.$$

В расчетах были использованы следующие компоненты топлива: керосин,  $\rho_\Gamma = 830 \text{ кг/м}^3$ ; окислитель — жидкий кислород,  $\rho_o = 1,144 \text{ кг/м}^3$ ; соотношение компонентов в топливной смеси  $K_m = 1,63$  [2].

Огневые испытания форсунки с компланарными каналами подтвердили ее высокую эффективность. Результаты экспериментальных исследований [3, 5] и данные нашей обработки, представленные на рис. 5 и 6, свидетельствуют о том, что при соотношении компонентов  $K_m = 1,0$  и увеличении угла  $2\beta$  с  $60^\circ$  до  $110^\circ$  при постоянном числе парных каналов  $N = 10$  значение расходного комплекса  $\beta_s$  увеличилось с 1440 до 1570 м/с, а коэффициента камеры соответственно — с 0,88 до 0,96. Число парных каналов  $N$  улучшает качество рабочего процесса в камере сгорания, в частности, при его увеличении с 6 до 17 при постоянном угле  $2\beta = 60^\circ$ . При угле взаимного пересечения каналов  $2\beta = 110^\circ$  имело место термическое разрушение форсунок под воздействием горячих газов вследствие уменьшения осевой составляющей скорости истечения и интенсивных обратных токов. Поэтому для обеспечения безопасной работы и получения высоких удельных показателей оптимальный угол взаимного пересечения каналов должен равняться  $2\beta = 90^\circ$  [1].

Увеличение числа входных каналов способствует образованию более симметричного течения в камере закручивания и снижает неравномерность распределения топливной смеси в факеле, что способствует качественному смешению жидкости и газа. В двухфазной среде устанавливаются равномерные поля концентраций фаз и равномерные поля давления и температуры.

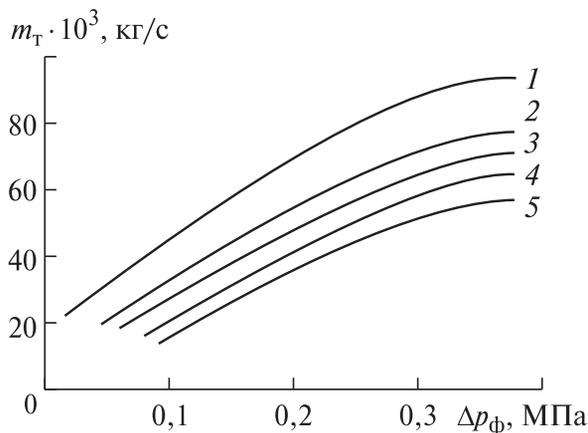


Рис. 5. Зависимость расхода двухфазной жидкости от числа каналов  $N$  и угла пересечения каналов  $2\beta$ : 1 —  $N = 17, 2\beta = 60^\circ$ ; 2 —  $N = 10, 2\beta = 60^\circ$ ; 3 —  $N = 6, 2\beta = 60^\circ$ ; 4 —  $N = 10, 2\beta = 90^\circ$ ; 5 —  $N = 10, 2\beta = 110^\circ$ , при  $m_\Gamma = 20 \text{ г/с}$

Fig. 5. The dependence of the flow rate of a two-phase liquid on the number of channels  $N$  and the angle of intersection of the channels  $2\beta$ : 1 —  $N = 17, 2\beta = 60^\circ$ ; 2 —  $N = 10, 2\beta = 60^\circ$ ; 3 —  $N = 6, 2\beta = 60^\circ$ ; 4 —  $N = 10, 2\beta = 90^\circ$ ; 5 —  $N = 10, 2\beta = 110^\circ$ , при  $m_\Gamma = 20 \text{ г/с}$

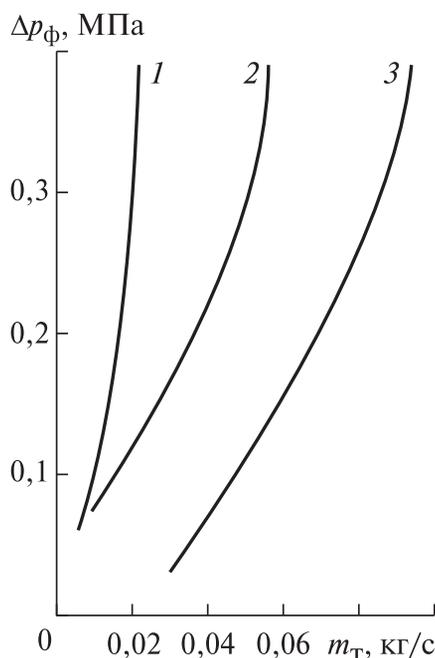


Рис. 6. Зависимость перепада давления на форсунках: 1 — вихревой; 2 — с компланарными каналами при  $2\beta = 110^\circ$  и  $N = 10$ ; 3 — с компланарными каналами при  $2\beta = 60^\circ$  и  $N = 17$

Fig. 6. The dependence of the differential pressure on the nozzles: 1 — vortex; 2 — with coplanar channels at  $2\beta = 110^\circ$  and  $N = 10$ ; 3 — with coplanar channels at  $2\beta = 60^\circ$  and  $N = 17$

В частности, при увеличении количества парных каналов  $N$  с 6 до 17 при постоянном угле их пересечения  $2\beta = 60^\circ$  значение расходного комплекса  $\beta_s$  увеличилось с 1440 до 1660 м/с (см. рис. 4), а коэффициента камеры  $\phi_\beta$  — с 0,88 до 0,99.

## Выводы

Проведен аналитический анализ существующих конструкций смесительных форсунок, который подтвердил возможность создания высокоэффективной малоперепадной газожидкостной форсунки внутреннего смешения с компланарными каналами для тепловых двигателей транспортных средств.

Выявлены следующие преимущества газожидкостных форсунок внутреннего смешения с компланарными каналами по сравнению со струйными и вихревыми:

- угол факела распыла больше, чем у струйной форсунки;

- коэффициент расхода больше, чем у центробежной форсунки;

- полнота сгорания выше, чем у струйных и центробежных форсунок при одних и тех же перепадах давления компонентов топлива;

- незначительные перепады давления позволяют применять насосы меньшей мощности, что приводит к экономии электроэнергии при эксплуатации;

- более интенсивное протекание процессов и как следствие уменьшение объема камеры сгорания, уменьшение габаритов и массы теплогенерирующего оборудования.

Между результатами гидравлических и огневых испытаний наблюдается хорошая корреляция, что свидетельствует о достоверности предлагаемых технических решений.

## Список литературы

- [1] Пелевин Ф.В., Лозовецкий В.В., Мартиросян А.А., Черкина В.М., Статкевич И.В. Моделирование смесеобразования в компланарных газожидкостных форсунках тепловых двигателей // Транспорт на альтернативном топливе, 2012. № 3 (27). С. 47–51.
- [2] Васильев А.П., Кудрявцев В.М., Кузнецов В.К. Основы теории и расчета жидкостных ракетных двигателей. М.: Высшая школа, 1983. 698 с.
- [3] Черкина В.М. Моделирование процессов смесеобразования в теплогенерирующем оборудовании предприятий коммунального хозяйства: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 107 с.
- [4] Добровольский М.В. Жидкостные ракетные двигатели. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 396 с.
- [5] Пелевин Ф.В., Черкина В.М., Орлин С.А., Мартиросян А.А. Газожидкостная вихревая форсунка // Материалы Междунар. школы-конференции молодых ученых им. П.А. Соловьева и В.Н. Кондратьева «Авиационная и ракетно-космическая техника с использованием новых технических решений». Рыбинск: РГАТА, 2006. Ч. 3. С. 73–75.

- [6] Хью Дж., Холл-Тейлор М. Кольцевые двухфазные течения. М.: Энергия, 1974. 408 с.
- [7] Богданов Ю.М., Пауков Ю.Н., Ламекин Н.С. Способ распыления жидкости. А.с. 853291 (СССР). БИ № 29. 17.08.81.
- [8] Базаров В.Г., Душкин А.Л. Способ распыления жидкости. А.с. 1147437 (СССР). БИ № 12. 30.03.85.
- [9] Грушенко А.М., Безуглый С.В., Спесивцев В.В., Фурсов А.П. Пневматическая форсунка для огне-струйной горелки. А.с. № 1153598 (СССР). БИ № 12. 1983. С. 28.
- [10] Безменов В.Я., Ягодкин В.И., Акиншин Н.С. Низконапорная форсунка и способ распыла топлива. Пат. РФ № 2249118. БИ № 9. 27.03.2005.
- [11] Говард К.П. Характеристики теплопередачи и гидравлического сопротивления теплообменных поверхностей со скошенными каналами // Энергетические машины и установки, 1965. № 1. С. 85–101.
- [12] Александренков В.П., Поляев В.М. Интенсификация теплопередачи в каналах с компланарным течением теплоносителя // Материалы II Всемирной конф. по экспериментальной физике, механике жидкости и термодинамике. Дубовник: СФРЮ, 1991. С. 20–24.
- [13] Лозовецкий В.В., Пелевин Ф.В., Черкина В.М. Форсунки с компланарными каналами для двигателей транспортно-технологических машин // Транспорт: наука, техника, управление, 2012. № 6. С. 57–66.
- [14] Орлов С.А., Поснов С.А. Пелевин Ф.В. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в щелевых трактах с компланарными каналами // Известия вузов. Сер. Машиностроение, 1984. № 2. С. 78–84.
- [15] Пелевин Ф.В., Дугин Г.С., Тимошенко З.В., Черкина В.М. Лозовецкий В.В. Увеличение полноты сгорания топлива, распыливаемого форсунками с компланарными каналами, для повышения эффективности и безопасности энергетических установок // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций, 2011. № 5. С. 44–51.
- [16] Пелевин Ф.В., Черкина В.М. Экспериментальное исследование смесеобразования в газожидкостной форсунке с компланарными каналами // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. Техника и технологии, 2009. № 1 (30). С. 48–55.
- [17] Therkelsen P., Werts T., McDonell V., Samuelsen S. Analysis of NOx Formation in Hydrogen-Fueled Gas Turbine Engine // J. Eng. Gas Turbines Power, 2009, v. 131, iss. 3, pp. 031507.
- [18] Пелевин Ф.В., Мартиросян А.А., Черкина В.М. Экспериментальное исследование газожидкостной форсунки с компланарными каналами // Вестник ассоциации вузов туризма и сервиса. Технология и техника, 2008. № 4. С. 28–34.
- [19] Бильмаер В.В., Пелевин Ф.В. Разработка нового метода интенсификации теплообмена для оборудования предприятий сервиса // Теоретические и прикладные проблемы сервиса, 2005. № 3. С. 15–19.
- [20] Dunham D., Spencer A., McGuirk J., Dianat M. Comparison of Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes and Large Eddy Simulation Computational Fluid Dynamics Methodologies for Air Swirl Fuel Injectors // J. Eng. Gas Turbines Power, 2009, v. 131, iss. 1, p. 011502.

## Сведения об авторах

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

**Комаров Евгений Геннадиевич** — д-р. техн. наук профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), fuzzykom@gmail.com

**Черкина Вера Михайловна** — канд. техн. наук, доцент Московского государственного строительного университета, khina75@mail.ru

Поступила в редакцию 18.10.2019.

Принята к публикации 24.12.2019.

## ANALYTICAL REVIEW OF MIXING FUEL COMPONENTS IN POWER ENGINE INSTALLATIONS RESEARCH PROCESSES

V.V. Lozovetskiy<sup>1</sup>, E.G. Komarov<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

fuzzykom@gmail.com

The results of theoretical and experimental studies of various types nozzles intended for mixing fuel components are presented. It is shown that the currently used single-component jet and swirl-type nozzles do not provide the required quality of mixing, which leads to a low completeness of fuel combustion. The use of nozzles with coplanar channels for spraying the fuel mixture in the combustion chambers of vehicle engines increases their efficiency by reducing hydraulic losses in the fuel supply system and the optimal structure of the supplied fuel mixture. Experimental studies are considered, which substantiate the possibility of creating a highly efficient internal mixing nozzle with coplanar channels with a low level of hydraulic losses. Design solutions for a two-component internal mixing nozzle with coplanar channels have been developed. The results obtained allow us to predict and determine the optimal parameters of this nozzle.

**Keywords:** vehicles, engine, fuel, nozzle, coplanar channel, mixing, combustion chamber

**Suggested citation:** Lozovetskiy V.V., Komarov E.G., Cherkina V.M. *Analiticheskiy obzor issledovaniy protsessov smesheniya komponentov topliva v energodvigatel'nykh ustanovkakh* [Analytical review of mixing fuel components in power engine installations research processes]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 103–110. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-103-110

## References

- [1] Pelevin F.V., Lozovetskiy V.V., Martirosyan A.A., Cherkina V.M., Statkevich I.V. *Modelirovanie smeseobrazovaniya v koplanarnykh gazozhidkostnykh forsunkakh teplovykh dvigateley* [Modeling mixture formation in coplanar gas-liquid nozzles of heat engines] *Transport na al'ternativnom toplive* [Transport on alternative fuel], 2012, no. 3 (27), pp. 47–51.
- [2] Vasil'ev A.P., Kudryavtsev V.M., Kuznetsov V.K. *Osnovy teorii i rascheta zhidkostnykh raketnykh dvigateley* [Fundamentals of the theory and calculation of liquid rocket engines]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher School], 1983, 698 p.
- [3] Cherkina V.M. *Modelirovanie protsessov smeseobrazovaniya v teplo-generiruyushchem oborudovanii predpriyatii kommunal'nogo khozyaystva* [Modeling of processes of mixture formation in heat-generating equipment of public utilities] *Dis. ... kand. tekhn. nauk* [Dis. ... Cand. Sci. Tech.]. Moscow, 2012, 107 p.
- [4] Dobvol'skiy M.V. *Zhidkostnye raketnye dvigateli* [Liquid rocket engines]. Moscow: Publishing House of MSTU. N.E. Bauman, 2005, 396 p.
- [5] Pelevin F.V., Cherkina V.M., Orlin S.A., Martirosyan A.A. *Gazozhidkostnaya vikhrevaya forsunka* [Gas-liquid vortex nozzle] *Materialy Mezhdunarodnoy shkoly-konferentsii molodykh uchenykh im. P.A. Solov'eva i V.N. Kondrat'eva «Aviatsionnaya i raketno-kosmicheskaya tekhnika s ispol'zovaniem novykh tekhnicheskikh resheniy»* [Materials of the International School-Conference of Young Scientists named after P.A. Soloviev and V.N. Kondratyev «Aviation and rocket and space technology using new technical solutions»]. Rybinsk: RGATA, 2006, part 3, pp. 73–75.
- [6] Hugh J., Hall-Taylor M. *Kol'tsevye dvukhfaznye techeniya* [Annular biphasic flows]. Moscow: Energiya [Energy], 1974, 408 p.
- [7] Bogdanov Yu.M., Paukov Yu.N., Lamekin N.S. *Sposob raspysleniya zhidkosti* [The method of spraying liquid]. A.S. 853291 (USSR). BI no. 29.17.08.81.
- [8] Bazarov V.G., Dushkin A.L. *Sposob raspysleniya zhidkosti* [The method of spraying liquid]. A.S. 1147437 (USSR). BI no. 12.03.30.85.
- [9] Grushenko A.M., Bezuglyy S.V., Spesivtsev V.V., Fursov A.P. *Pnevmaticheskaya forsunka dlya ogne-struynoy gorelki* [Pneumatic nozzle for a flame jet burner]. A.S. no. 1153598 (USSR). BI no. 12.1983, p. 28.
- [10] Bezmenov V.Ya., Yagodkin V.I., Akin'shin N.S. *Nizkonapornaya forsunka i sposob raspysla topliva* [Low-pressure nozzle and method of spraying fuel]. Pat. RF number 2249118. BI no. 9.03/27/2005.

- [11] Howard K.P. *Kharakteristiki teploperedachi i gidravlicheskogo soprotivleniya teploobmennykh poverkhnostey so skoshennymi kanalami* [Characteristics of heat transfer and hydraulic resistance of heat exchange surfaces with beveled channels] *Energeticheskie mashiny i ustanovki* [Energy Machines and Installations], 1965, no. 1. pp. 85–101.
- [12] Aleksandrenkov V.P., Polyayev V.M. *Intensifikatsiya teplootdachi v kanalakh s komplanarnym techeniem teplonositelya* [Intensification of heat transfer in channels with a coplanar coolant flow] *Materialy II Vsemirnoy konferentsii po eksperimental'noy fizike, mekhanike zhidkosti i termodinamike* [Materials of the II World Conference on Experimental Physics, Fluid Mechanics, and Thermodynamics]. Dubovnik: SFRY, 1991, pp. 20–24.
- [13] Lozovetskiy V.V., Pelevin F.V., Cherkina V.M. *Forsunki s komplanarnymi kanalami dlya dvigateley transportno-tekhnologicheskikh mashin* [Nozzles with coplanar channels for engines of transport-technological machines] *Transport: nauka, tekhnika, upravlenie* [Transport: science, technology, management], 2012, no. 6, pp. 57–66.
- [14] Orlov S.A., Posnov S.A., Pelevin F.V. *Teploobmen i gidravlichesкое soprotivlenie v shchelevykh traktakh s komplanarnymi kanalami //*, 1984. № 2. S. 78–84.
- [14] Orlov S.A., Posnov S.A., Pelevin F.V. *Teploobmen i gidravlichesкое soprotivlenie v shchelevykh traktakh s komplanarnymi kanalami* [Heat transfer and hydraulic resistance in slotted ducts with coplanar channels] *Izvestiya vuzov. Mashinostroenie* [News of universities. Engineering], 1984, no. 2, pp. 78–84.
- [15] Pelevin F.V., Dugin G.S., Timoshenko Z.V., Cherkina V.M., Lozovetskiy V.V. *Uvelichenie polnoty sgoraniya topliva, raspylivaemogo forsunkami s komplanarnymi kanalami, dlya povysheniya effektivnosti i bezopasnosti energeticheskikh ustanovok* [Increasing the completeness of combustion of fuel sprayed by nozzles with coplanar channels to increase the efficiency and safety of power plants] *Problemy bezopasnosti i chrezvychaynykh situatsiy* [Problems of Safety and Emergencies], 2011, no. 5, pp. 44–51.
- [16] Pelevin F.V., Cherkina V.M. *Eksperimental'noe issledovanie smeseobrazovaniya v gazozhidkostnoy forsunke s komplanarnymi kanalami* [An experimental study of mixture formation in a gas-liquid nozzle with coplanar channels] *Teoreticheskie i prikladnye problemy servisa. Tekhnika i tekhnologii* [Theoretical and applied problems of service. Engineering and Technology], 2009, no. 1 (30), pp. 48–55.
- [17] Therkelsen P., Werts T., McDonell V., Samuelsen S. Analysis of NOx Formation in Hydrogen-Fueled Gas Turbine Engine. *J. Eng. Gas Turbines Power*, 2009, v. 131, iss. 3, pp. 031507.
- [18] Pelevin F.V., Martirosyan A.A., Cherkina V.M. *Eksperimental'noe issledovanie gazozhidkostnoy forsunki s komplanarnymi kanalami* [An experimental study of a gas-liquid nozzle with coplanar channels] *Vestnik assotsiatsii vuzov turizma i servisa. Tekhnologiya i tekhnika* [Bulletin of the Association of Tourism and Service Universities. Technology and Engineering], 2008, no. 4, pp. 28–34.
- [19] Bil'maer V.V., Pelevin F.V. *Razrabotka novogo metoda intensivatsii teploobmena dlya oborudovaniya predpriyatiy servisa* [Development of a new method of heat transfer intensification for equipment of service enterprises] *Teoreticheskie i prikladnye problemy servisa* [Theoretical and applied problems of service], 2005, no. 3, pp. 15–19.
- [20] Dunham D., Spencer A., McQuirk J., Dianat M. Comparison of Unsteady Reynolds Averaged Navier-Stokes and Large Eddy Simulation Computational Fluid Dynamics Methodologies for Air Swirl Fuel Injectors. *J. Eng. Gas Turbines Power*, 2009, v. 131, iss. 1, p. 011502.

## Authors' information

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

**Komarov Evgeniy Gennadievich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), fuzzykom@gmail.com

**Cherkina Vera Mikhaylovna** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Moscow State Building University (NIU MGSU), khina75@mail.ru

Received 18.10.2019.

Accepted for publication 24.12.2019.

## ВЫСОКОЧАСТОТНЫЙ ИСТОЧНИК ГАЗОВОГО РАЗРЯДА

**Н.П. Полуэктов, И.И. Усатов, А.А. Андросюк,  
А.Л. Сербинов, Т.А. Мазаева, А.Н. Посевин**

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

poluekt@mgu.ac.ru

Разработан источник высокочастотного (ВЧ) разряда, который можно использовать для очистки металлических и диэлектрических подложек, а также при осаждении тонких пленок. Приведено описание принципиальной схемы источника высокочастотного разряда, схемы предусилителя и усилителя данной системы. Проведены испытания данной системы, которые показали ее устойчивую работу на плазменной установке.

**Ключевые слова:** источник ВЧ разряда, напряжение смещения, плазменные технологии, тонкие пленки

**Ссылка для цитирования:** Полуэктов Н.П., Усатов И.И., Андросюк А.А., Сербинов А.Л., Мазаева Т.А., Посевин А.Н. Высокочастотный источник газового разряда // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 111–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-111-116

При плазменном осаждении тонких пленок (0,1...1,0 мкм) большое влияние на качество получаемых пленок оказывает чистота поверхности. Наличие примесей на подложке негативно влияет на адгезию пленки, и другие физические и электрические характеристики.

Кроме того, качество получаемых пленок зависит от энергии поступающих на подложку атомов и ионов. Подавая отрицательное напряжение порядка сотен вольт на подложку, можно ускорять приходящие ионы металла и получать пленки с более высокой плотностью и адгезией. В случае если подложка состоит из изолирующего материала, то постоянное отрицательное напряжение не даст эффекта, поскольку накопленный положительный заряд будет препятствовать дальнейшему ускорению ионов. Тогда необходимо подавать переменное напряжение. При положительном потенциале подложки на нее поступают электроны, а при отрицательном — ионы. Поскольку подвижность электронов выше, чем ионов, отрицательный заряд положительного полупериода значительно превышает положительный заряд отрицательного полупериода. В результате средняя линия синусоиды смещается в отрицательный потенциал, и величина этого потенциала называется напряжением смещения.

### Цель работы

Цель работы — создание высокочастотного (ВЧ) источника напряжения смещения на подложке.

### Объект исследования

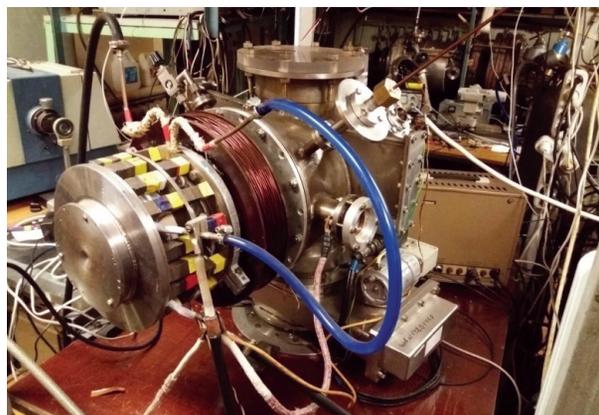
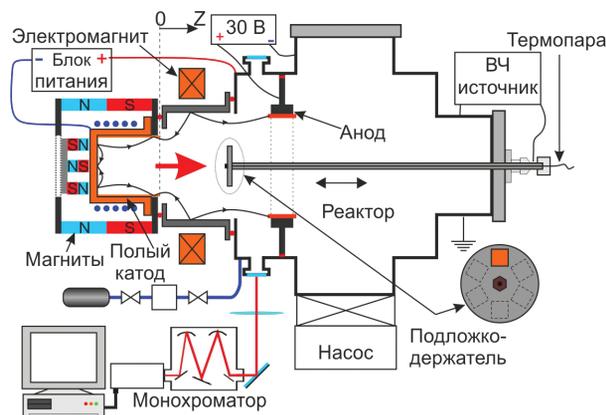
В лаборатории кафедры К6 МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал) создана плазменная установка — магнетрон с полым катодом (МПК), предназначенная для осаждения

пленок металлов и их соединений (оксидами и нитридами) [1–4]. В магнетронном разряде в результате бомбардировки катода-мишени положительными ионами инертного газа происходит выбивание атомов металла, которые осаждаются на подложке. Особенностью разряда МПК, работающего в режиме постоянного тока, является высокая концентрация плазмы (более  $10^{11}$  см<sup>-3</sup> при давлении 0,13...5 Па вплоть до расстояния 30 см от выходного сечения МПК. При таких характеристиках плазмы атомы металла, вылетающие из катода-мишени, имеют большую вероятность ионизоваться на их пути от мишени к подложке. Тогда ионы металла можно ускорять напряжением, подаваемым на подложку. Установки на основе данного разряда широко применяются за рубежом для создания адгезионных, диффузионных и затравочных слоев в канавках (трэнчах) и межслойных отверстиях современных ультрабольшин интегральных схем (УБИС) [18–22].

Схема и фото установки приведены на рис. 1. Катод МПК выполнен в виде закрытого с одного конца цилиндра (диаметр — 14 см, длина — 11 см), изготовленного из меди и охлаждаемого водой. В него можно вставлять цилиндрические мишени из различных металлов. Камера откачивается турбомолекулярным насосом до давления  $10^{-3}$  Па, затем через электронный регулятор расхода (25...50 см<sup>3</sup>/мин) напускается аргон до давления 1,3 Па.

Источник мощных импульсов, разработанный в лаборатории кафедры К6, имеет напряжение до 900 В, максимальная сила тока — 150 А, длительность импульса — 50...350 мкс, частота — 100 Гц.

На держатель подложек подается высокочастотный разряд с помощью источника, описание которого приводится ниже.



а

б

Рис. 1. Схема (а) и фото (б) экспериментальной установки  
 Fig. 1. Scheme (a) and photo (б) of the pilot unit

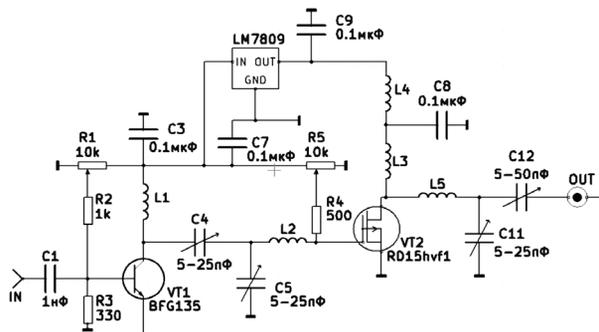
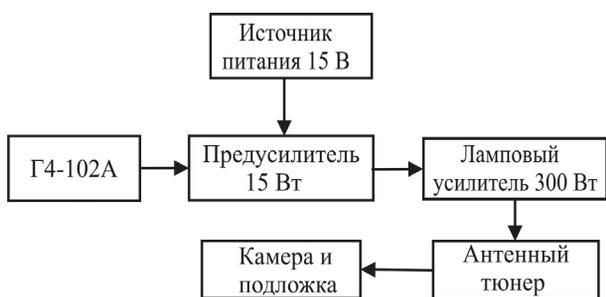


Рис. 2. Блок-схема системы высокочастотного источника напряжения  
 Fig. 2. System block diagram of a high frequency voltage source

Рис. 4. Схема предусилителя  
 Fig. 4. Preamplifier circuit

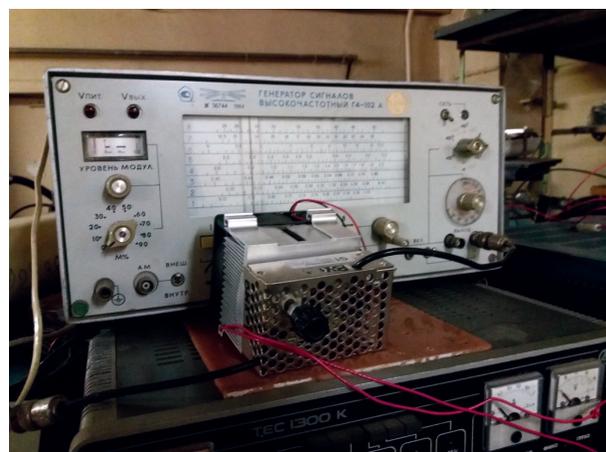


Рис. 3. Задающий генератор Г4-102 и предусилитель  
 Fig. 3. The master oscillator G4-102 and preamplifier

Рис. 5. Ламповый усилитель  
 Fig. 5. Tube amplifier

### Описание источника высокочастотного разряда

Принципиальная схема источника показана на рис. 2.

Генератор синусоидальных напряжений Г4-102А, настроенный на промышленную частоту

13,56 МГц, выдает синусоиду с амплитудой 1 В. Так как ламповый усилитель не может усилить сигнал, поступающий с генератора синусоидальных напряжений Г4-102А, менее чем в 7 В необходимо подключить к нему предусилитель (рис. 3), который повышает сигнал с 1 В до 17 В.

Генератор синусоидальных напряжений Г4-102А через разделительный конденсатор С1 подает на базу биполярного транзистора VT1 синусоидальное напряжение частотой 13,56 МГц (рис. 4). Делитель напряжения, состоящий из резисторов R1...R3, создает необходимое смещение на транзисторе VT1.

Фильтр, состоящий из катушки L1 и конденсатора С3, предназначен для исключения составляющей питающего транзистор напряжения. Переменный ток, возникающий в цепи база — эмиттер транзистора VT1, усиливается и поступает на коллектор транзистора VT1. С коллектора транзистора VT1 через LC-фильтр, состоящий из конденсаторов С4, С5 и катушки L2, усиленный сигнал нужной частоты поступает на затвор полевого транзистора с изолированным затвором VT2. Рабочее состояние VT2 устанавливается с помощью делителя, состоящего из резисторов R4 и R5. Изменение усиленных сигналов напряжения, приложенного к затвору VT2, создает переменное напряжение в цепи сток — исток VT2 и через фильтр, состоящий из катушки L5 и конденсаторов С11 и С12, поступает на выход схемы. Транзистор VT2 питается от источника напряжения через фильтр, уменьшая переменную составляющую напряжения. Фильтр собран из индуктивностей L3, L4 и конденсатора С8. Питание транзистора VT1 осуществляется от линейного стабилизатора, выполненного на микросхеме LM7809.

Рассмотрим принцип работы лампового усилителя (рис. 5, 6). Усиленный сигнал с предусилителя поступает на управляющую сетку лампы ГУ-29 через ограничивающие резисторы R1, R2. Резистор R3 позволяет менять амплитуду поступающего сигнала. В цепи анод — катод лампы возникает переменный ток, усиливающийся с помощью ускоряющей сетки, на которую поступает напряжение +225 В. Ток ускоряющей сетки контролируется миллиамперметром. Усиленный сигнал с анода лампы через RLC фильтр, состоящий из катушки L3, резистора R6 и конденсатора С5, подается на П-образный контур, включающий в себя переменные конденсаторы С6, С7 и катушку L1, который согласует усилитель с нагрузкой и регулирует амплитуду усиленного сигнала. Дроссель Др.1 с конденсатором С1 фильтруют постоянное питающее напряжение лампы от переменной составляющей. Стабилизаторы Д815Д с конденсатором С2 стабилизируют напряжение накала лампы.

Усилитель собран на сдвоенной лампе ГУ-29. Он усиливает сигнал до мощности в 300 Вт. Максимальная амплитуда равна напряжению питания лампы (650 В). Переменный сигнал такой большой мощности эффективно поджигает разряд и очищает подложку, на которую наносятся пленки.

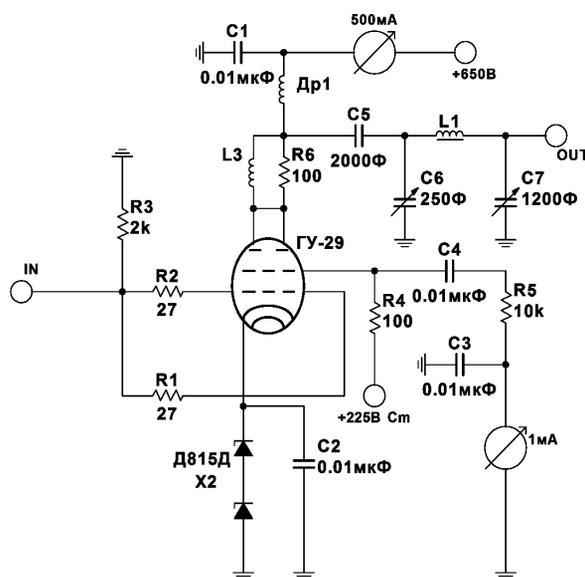


Рис. 6. Схема усилителя  
Fig. 6. Amplifier circuit



Рис. 7. Антенный тюнер MFJ-989D  
Fig. 7. Antenna tuner MFJ-989D

Сигнал с усилителя подается на подложкодержатель через антенный тюнер MFJ-989D (рис. 7), который служит для согласования нагрузки главного генератора.

Мощный антенный тюнер MFJ-989D может согласовывать симметричные и несимметричные нагрузки при выходной мощности усилителя в режиме CW, несущей до 1500 Вт. Переменная индуктивность тюнера MFJ-989D оснащена верньером с замедлением и счетчиком числа оборотов. Двухстрелочный измерительный прибор тюнера MFJ-989D отображает без предварительной калибровки величину коэффициента стоячей волны (КСВ), прямой и отраженной мощности. Шестипозиционный переключатель тюнера MFJ-989D позволяет выбрать между двумя независимыми антеннами (через тюнер или в обход), встроенным эквивалентом нагрузки и симметричной антенны. Выходы симметричной линии тюнера MFJ-989D расположены на керамических проходных изоляторах. Возможно и подключение

антенны типа «длинный луч» с питанием однопроводной линией. Симметрирующий трансформатор тюнера MFJ-989D выполнен по «токовой» схеме, которая дает более высокую точность симметрирования при небольшом дисбалансе нагрузки. На передней панели тюнера MFJ-989D расположены переключатели пределов измерения, выбора измерения пиковой или средней мощности, включения подсветки прибора.

## Выводы

Приведено описание источника ВЧ разряда, который предназначен для создания напряжения смещения на подложке при осаждении пленок в магнетронном разряде. Ионы газа и металлов мишени с энергией сотни вольт используются для очистки подложек, а также повышения качества получаемых пленок. Описана принципиальная схема работы источника ВЧ разряда. Приведены схемы с описанием принципа работы предусилителя и усилителя. Данная система испытана, и показала устойчивую работу на плазменной установке — магнетрон с полым катодом.

## Список литературы

- [1] Царьгородцев Ю.П., Полуэктов Н.П., Усатов И.И., Евстигнеев А.Г., Камышов И.А. Степень ионизации потока распыленных атомов металла в магнетроне с полым катодом // Физика плазмы, 2014. Т. 40. № 9. С. 857–864.
- [2] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kamyschov I.A. Plasma parameters of the hollow cathode magnetron inside and downstream // Plasma Sources Science and Technology, 2015, v. 24, p. 035009.
- [3] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G. Energy flux to the substrate in a magnetron discharge with hollow cathode // Thin Solid Films, 2017, v. 640, pp. 60–66.
- [4] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kozlovskaya E.P., Amel'kin O.O. Study of plasma dynamics in a pulsed hollow cathode magnetron // J. of Physics: Conf. Series., 2018, v. 1121, p. 012024 (1–5).
- [5] Царьгородцев Ю.П., Полуэктов Н.П., Усатов И.И., Евстигнеев А.Г., Козловская Е.П., Амелин О.О. Исследование ионизации атомов металла в магнетроне с полым катодом // Физика плазмы, 2019. Т. 45. С. 558–567.
- [6] Klawuhn E., D'Couto G.C., Ashtiani K.A. Ionized physical-vapor deposition using a hollow-cathode magnetron source for advanced metallization // J. Vac. Sci. Technol., 2000, v. 18A, no. 4, pp. 1546–1549.
- [7] Wu L., Ko E., Dulkin A., Park K.J., Fields S., Leeser K., Meng L., Ruzic D.N. Flux and energy analysis of species in hollow cathode magnetron ionized physical vapor deposition of copper // Rev. Sci. Instrum., 2010, v. 81, p. 123502.
- [8] Vyas V., Kushner M. J. Scaling of hollow cathode magnetrons for ionized metal physical vapor deposition // J. Vac. Sci. Technol., 2006, v. 24A, p. 1955.
- [9] Dulkin A., Ko E., Wu L., Karim I., Leeser K., Park K.J., Meng L., Ruzic D.N. Improving the quality of barrier/seed interface by optimizing physical vapor deposition of Cu Film in hollow cathode magnetron // J. Vac. Sci. Technol., 2011, v. 29 A, p. 041514.
- [10] Meng L., Matthew H.Yu., Szott M., McLain J. T., Ruzic D.N. Downstream plasma transport and metal ionization in a high-powered pulsed-plasma magnetron // J. Appl. Phys., 2014, v. 115, p. 223301.
- [11] Huq H.F., Garza Ro. Y., Garcia-Perez R. Characteristics of GaN Thin Films Using Magnetron Sputtering System // J. Modern Phys., 2016, v. 7, pp. 2028–2037.
- [12] Nakao S., Yukimura K., Nakano S., Ogiso H. DLC Coating by HiPIMS: The Influence of Substrate Bias Voltage // IEEE Trans. plasma science, 2013, v. 12, pp. 1–12.
- [13] Rank R., Wünsche T., Günther S. Magnetically enhanced RF discharges for effective pre-treatment of plastic webs at high speed // Surface and Coatings Technology, 2003, v. 174–175, pp. 218–221.
- [14] Mavrodineanu R., Hughes R.C. Excitation in radio-frequency discharges // Spectrochimica Acta. 1963. v. 19. pp. 1309–1317.
- [15] Homma Y., Tsunekawa S. Planar Deposition of Aluminum by RF/DC Sputtering with RF Bias // J. Electrochemical Society, 1985, v. 24, pp. 344–350.
- [16] Zhang Z.G., Rapaud O., Bonasso N. Influence of RF Bias on the Deposition of CrN Studied by OES // Advanced Engineering Materials, 2008, v. 34, pp. 234–238.
- [17] Averkin S.N., Gatsonis N.A., Olson L. Investigation of the Radio-Frequency Discharge in a High Current Negative Hydrogen Ion Source // IEEE Trans. on Plasma Science, 2017, v. 45, pp. 2460–2471.
- [18] Yukimura K., Konishi T., Takaki K., Nakao S. Fabrication of diamond-like carbon films using short-pulse HiPIMS // Surface and Coatings Technology, 2015, v. 195, pp. 218–221.
- [19] Морган Дж. Ламповые усилители. М.: ДМК-Пресс, 2013. 624 с.
- [20] Карсон Р. Высокочастотные усилители / пер. с англ. В.Ф. Ткаченко. М.: Радио и связь, 1981. 216 с.
- [21] Tucker M.D., Putman K.J., Ganesan R. The behaviour of arcs in carbon-mixed-mode high-power impulse magnetron sputtering // J. Phys. D: Appl. Phys., 2017, v. 50, pp. 145–155.
- [22] Зельдин И.Л., Марцын В.Г., Моргунов В.В., Трясоруков В.Г. Ламповые усилители ВЧ. Теория и практика. Харьков: Торнадо, 2001. 144 с.
- [23] Климов Д.А. Ламповые усилители. Методика расчета и конструирования. М.: Радио и связь, 2002. 88 с.
- [24] Снедков Б.А. Основы теории и расчета генераторов высокой частоты. М.: [б.и.], 1993. 63 с.
- [25] Ganesan R., McCulloch D.G., Marks N.A. Synthesis of highly tetrahedral amorphous carbon by mixed-mode HiPIMS sputtering // J. Phys. D: Appl. Phys., 2015, v. 48, p. 442001.
- [26] Mishra A., Kelly P.J., Bradley J.W. The evolution of the plasma potential in a HiPIMS discharge and its relationship to deposition rate // Plasma Sources Sci. Technol., 2010, v. 19, pp. 150–158.

## Сведения об авторах

**Полужков Николай Павлович** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), poluekt@mgul.ac.ru

**Усатов Игорь Игоревич** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), caf-physics@mgul.ac.ru

**Андросюк Алексей Александрович** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), diadia.yzhik@yandex.ru

**Сербинов Алексей Леонидович** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), diadia.ejik@yandex.ru

**Мазаева Татьяна Андреевна** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), Tanya\_Mazeva17@mail.ru

**Посевин Александр Николаевич** — студент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), sasha\_posevin@mail.ru

Поступила в редакцию 19.09.2019.

Принята к публикации 13.11.2019.

## HIGH FREQUENCY GAS DISCHARGE SOURCE

**N.P. Poluektov, I.I. Usatov, A.A. Androsyuk,  
A.L. Serbinov, T.A. Mazaeva, A.N. Posevin**

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

poluekt@mgul.ac.ru

A source of high-frequency (HF) discharge has been developed, which can be used both for cleaning metal, dielectric substrates and thin-film deposition. A description of a circuit schematic of a high-frequency discharge source and a preamplifier and amplifier circuit of this system are given. The system was tested, which showed its stable operation in a plasma installation.

**Keywords:** HF discharge, bias voltage, plasma technology, thin films

**Suggested citation:** Poluektov N.P., Usatov I.I., Androsyuk A.A., Serbinov A.L., Mazaeva T.A., Posevin A.N. *Высокочастотный источник газового разряда* [High frequency gas discharge source]. *Лесной вестник / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 111–116. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-111-116

## References

- [1] Tsar'gorodtsev Yu.P., Poluektov N.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kamyshev I.A. *Степень ионизации потока расплывенных атомов металла в магнетроне с полим катодом* [The degree of ionization of the stream of atomized metal atoms in a hollow cathode magnetron] *Fizikaplazmy [Fizicaplazmas]*, 2014, v. 40, no. 9, pp. 857–864.
- [2] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kamyshev I.A. Plasma parameters of the hollow cathode magnetron inside and downstream. *Plasma Sources Science and Technology*, 2015, v. 24, p. 035009.
- [3] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G. Energy flux to the substrate in a magnetron discharge with hollow cathode. *Thin Solid Films*, 2017, v. 640, pp. 60–66.
- [4] Poluektov N.P., Tsar'gorodtsev Yu.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kozlovskaya E.P., Amel'kin O.O. Study of plasma dynamics in a pulsed hollow cathode magnetron. *J. of Physics: Conf. Series.*, 2018, v. 1121, p. 012024 (1–5).
- [5] Tsar'gorodtsev Yu.P., Poluektov N.P., Usatov I.I., Evstigneev A.G., Kozlovskaya E.P., Amel'kin O.O. *Исследование ионизации атомов металла в магнетроне с полим катодом* [Investigation of the ionization of metal atoms in a hollow-cathode magnetron] *Fizikaplazmy [Fizicaplazmas]*, 2019, v. 45, pp. 558–567.
- [6] Klawuhn E., D' Couto G.C., Ashtiani K.A. Ionized physical-vapor deposition using a hollow-cathode magnetron source for advanced metallization. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2000, v. 18A, no. 4, pp. 1546–1549.
- [7] Wu L., Ko E., Dulkan A., Park K.J., Fields S., Leeser K., Meng L., Ruzic D.N. Flux and energy analysis of species in hollow cathode magnetron ionized physical vapor deposition of copper. *Rev. Sci. Instrum.*, 2010, v. 81, p. 123502.
- [8] Vyas V., Kushner M. J. Scaling of hollow cathode magnetrons for ionized metal physical vapor deposition. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2006, v. 24A, p. 1955.
- [9] Dulkan A., Ko E., Wu L., Karim I., Leeser K., Park K.J., Meng L., Ruzic D.N. Improving the quality of barrier/seed interface by optimizing physical vapor deposition of Cu Film in hollow cathode magnetron. *J. Vac. Sci. Technol.*, 2011, v. 29 A, p. 041514.
- [10] Meng L., Matthew H.Yu., Szott M., McLain J. T., Ruzic D.N. Downstream plasma transport and metal ionization in a high-powered pulsed-plasmamagnetron. *J. Appl. Phys.*, 2014, v. 115, p. 223301.
- [11] Huq H.F., Garza Ro. Y., Garcia-Perez R. Characteristics of GaN Thin Films Using Magnetron Sputtering System. *J. Modern Phys.*, 2016, v. 7, pp. 2028–2037.

- [12] Nakao S., Yukimura K., Nakano S., Ogiso H. DLC Coating by HiPIMS: The Influence of Substrate Bias Voltage. *IEEE Trans. plasma science*, 2013, v. 12, pp. 1–12.
- [13] Rank R., Wünsche T., Günther S. Magnetically enhanced RF discharges for effective pre-treatment of plastic webs at high speed. *Surface and Coatings Technology*, 2003, v. 174–175, pp. 218–221.
- [14] Mavrodineanu R., Hughes R.C. Excitation in radio-frequency discharges. *Spectrochimica Acta*. 1963. v. 19. pp. 1309–1317.
- [15] Homma Y., Tsunekawa S. Planar Deposition of Aluminum by RF/DC Sputtering with RF Bias. *J. Electrochemical Society*, 1985, v. 24, pp. 344–350.
- [16] Zhang Z.G., Rapaud O., Bonasso N. Influence of RF Bias on the Deposition of CrN Studied by OES. *Advanced Engineering Materials*, 2008, v. 34, pp. 234–238.
- [17] Averkin S.N., Gatsonis N.A., Olson L. Investigation of the Radio-Frequency Discharge in a High Current Negative Hydrogen Ion Source. *IEEE Trans. on Plasma Science*, 2017, v. 45, pp. 2460–2471.
- [18] Yukimura K., Konishi T., Takaki K., Nakao S. Fabrication of diamond-like carbon films using short-pulse HiPIMS. *Surface and Coatings Technology*, 2015, v. 195, pp. 218–221.
- [19] Morgan J. *Lampovye usiliteli* [Tube Amplifiers]. Moscow: DMK-Press, 2013, 624 p.
- [20] Karson R. *Ysokochastotnye usiliteli* [High Frequency Amplifiers]. Moscow: Radio and communications, 1981, 216 p.
- [21] Tucker M.D., Putman K.J., Ganesan R. The behaviour of arcs in carbonmixed-mode high-power impulsemagnetron sputtering // *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2017, v. 50, pp. 145–155.
- [22] Zel'din I.L., Martsyn V.G., Morgun V.V., Tryasorukov V.G. *Lampovye usiliteli VCh. Teoriya i praktika* [RF tube amplifiers. Theory and practice]. Kharkov: Tornado, 2001, 144 p.
- [23] Klimov D.A. *Lampovye usiliteli. Metodika rascheta i konstruirovaniya* [Tube amplifiers. Methodology of calculation and design]. Moscow: Radio and communications, 2002, 88 p.
- [24] Snedkov B.A. *Osnovy teorii i rascheta generatorov vysokoy chastoty* [Fundamentals of the theory and calculation of high-frequency generators]. Moscow, 1993, 63 p.
- [25] Ganesan R., McCulloch D.G., Marks N.A. Synthesis of highly tetrahedral amorphous carbon by mixed-mode HiPIMS sputtering. *J. Phys. D: Appl. Phys.*, 2015, v. 48, p. 442001.
- [26] Mishra A., Kelly P.J., Bradley J.W. The evolution of the plasma potential in a HiPIMS discharge and its relationship to deposition rate. *Plasma Sources Sci. Technol.*, 2010, v. 19, pp. 150–158.

## Authors' information

**Poluektov Nikolay Pavlovich** — Dr. Sci. (Tech.), Professor of the BMSTU (Mytishchi branch),  
poluekt@mgul.ac.ru

**Usatov Igor' Igorevich** — Cand. Sci.(Tech.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch),  
caf-physics@mgul.ac.ru

**Androsyuk Aleksey Aleksandrovich** — Student of the BMSTU (Mytishchi branch),  
diadia.yzhik@yandex.ru

**Serbinov Aleksey Leonidovich** — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), diadia.ejik@yandex.ru

**Mazaeva Tat'yana Andreevna** — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), Tanya\_Mazeval7@mail.ru

**Posevin Aleksandr Nikolaevich** — Student of the BMSTU (Mytishchi branch), sasha\_posevin@mail.ru

Received 19.09.2019.

Accepted for publication 13.11.2019.

## ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ С УЧЕТОМ ЗАПАЗДЫВАНИЯ

М.П. Туманов<sup>1</sup>, П.С. Серебрянников<sup>2</sup>, С.Р. Абдуллин<sup>2</sup>

<sup>1</sup>МИЭМ НИУ ВШЭ, 123458, Москва, ул. Таллинская, д. 34

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

miketum@mail.ru

Исследованы нелинейные колебательные процессы, возникающие в системах с переменными параметрами с учетом запаздывания. В рассматриваемых системах происходит переключение параметров в зависимости от некоторых условий работы, при этом при каждом значении параметров система остается линейной, но в целом, конечно, она нелинейная и имеет запаздывание. Эффективные методы практического исследования таких систем недостаточно изучены, чтобы полноценно использоваться в практике автоматического управления. Рассмотрены вопросы возникновения автоколебаний, устойчивость и параметры которых должны быть рассчитаны. На базе решения типовой задачи о переключаемых осцилляторах показана эффективность аналитического вычисления параметров автоколебаний в случаях, когда обычные методы исследования затруднены. Результаты вычислений подтверждены моделированием в среде Matlab.

**Ключевые слова:** нелинейные колебания, предельный цикл, устойчивость, запаздывание, переменная структура

**Ссылка для цитирования:** Туманов М.П., Серебрянников П.С., Абдуллин С.Р. Исследование колебания в системах управления с переменной структурой с учетом запаздывания // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 117–123. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-117-123

Системы с переменной структурой (СПС) давно и эффективно используются в практике автоматического управления [1–3]. Это обусловлено следующими их полезными свойствами [4]:

- возможностью в разы увеличить быстродействие регулятора за счет скользящего режима;
- робастностью всей системы по отношению к изменению параметров объекта управления (движение в скользящем режиме не зависит от параметров объекта);
- возможностью получения бесконечного порядка астатизма (с ограничениями), что вообще невозможно в линейных системах;
- решение некоторых «проклятых» задач типа многократного дифференцирования в условиях шума и др.

Кроме случая, когда переключение структуры вводится специально, наличие негладкой нелинейности и запаздывания в правой части системы дифференциальных уравнений приводит к появлению предельных циклов, параметры которых необходимо рассчитывать аналитически.

Особо необходимо отметить, что и в современных цифровых системах автоматического управления (САУ) автоколебательные режимы могут появляться вследствие наличия нелинейности и запаздывания.

### Цель работы

Целью работы является анализ работы СПС при наличии нелинейности и запаздывания. Рассмотрены условия появления и исчезновения предельных циклов, вычислены параметры этих циклов.

### Постановка задачи. Средства и методы

Для решения системы с переменной структурой воспользуемся методом гармонической линеаризации [2, 5–7] и методикой имитационного моделирования в среде Matlab-Simulink.

Пусть имеется разбиение  $X_k = \bigcup X_k$  всего фазового пространства в объединение областей. В этих областях определены функции  $f_k$  в совокупности образующие правую часть системы дифференциальных уравнений.

Рассмотрим модельный пример переключаемого осциллятора (рис. 1).

В квадрантах 1 и 3 задан осциллятор

$$\ddot{x} = -d\dot{x} - 4x.$$

В квадрантах 2 и 4 задан осциллятор

$$\ddot{x} = -d\dot{x} - x.$$

В обоих случаях осциллятор неустойчив. Можно это трактовать так, что имеется два переключаемых между собой осциллятора.

Осцилляторы будут переключаться при условии  $(x \geq c \text{ и } \dot{x} \geq c)$  или  $(x \leq -c \text{ и } \dot{x} \leq -c)$ , то есть области переключения будут иметь вид, представленный на рис. 2. На границах областей фазовые траектории сшиваются, то есть графики переходят из области в область непрерывно. На рис. 2 обозначена область  $I$ , где действует уравнение 1-го осциллятора. На всей остальной плоскости — 2-го осциллятора.

Это характерно для систем оптимального управления, специально спроектированных генераторов с переключаемой структурой и в других случаях наличия сложных нелинейных колебательных систем [1, 2, 5, 8].

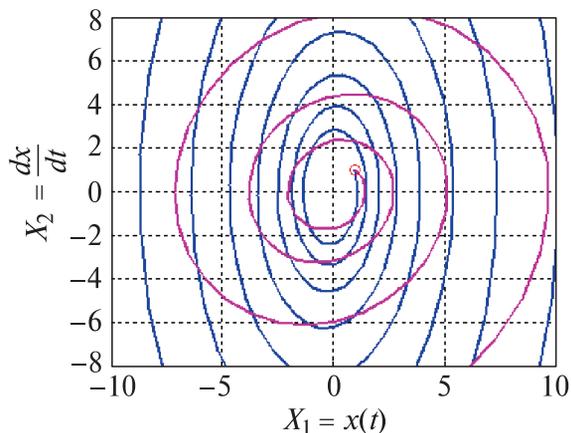


Рис. 1. Фазовая плоскость двух осцилляторов  
Fig. 1. Phase plane of two oscillators

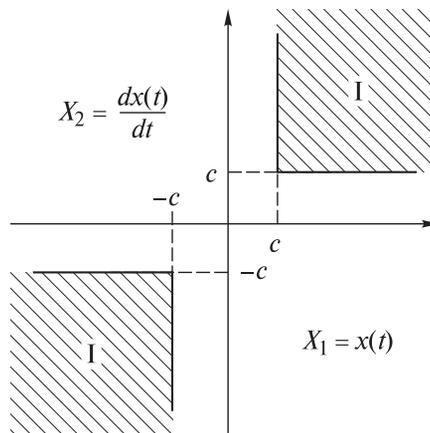


Рис. 2. Области переключения  
Fig. 2. Switching areas

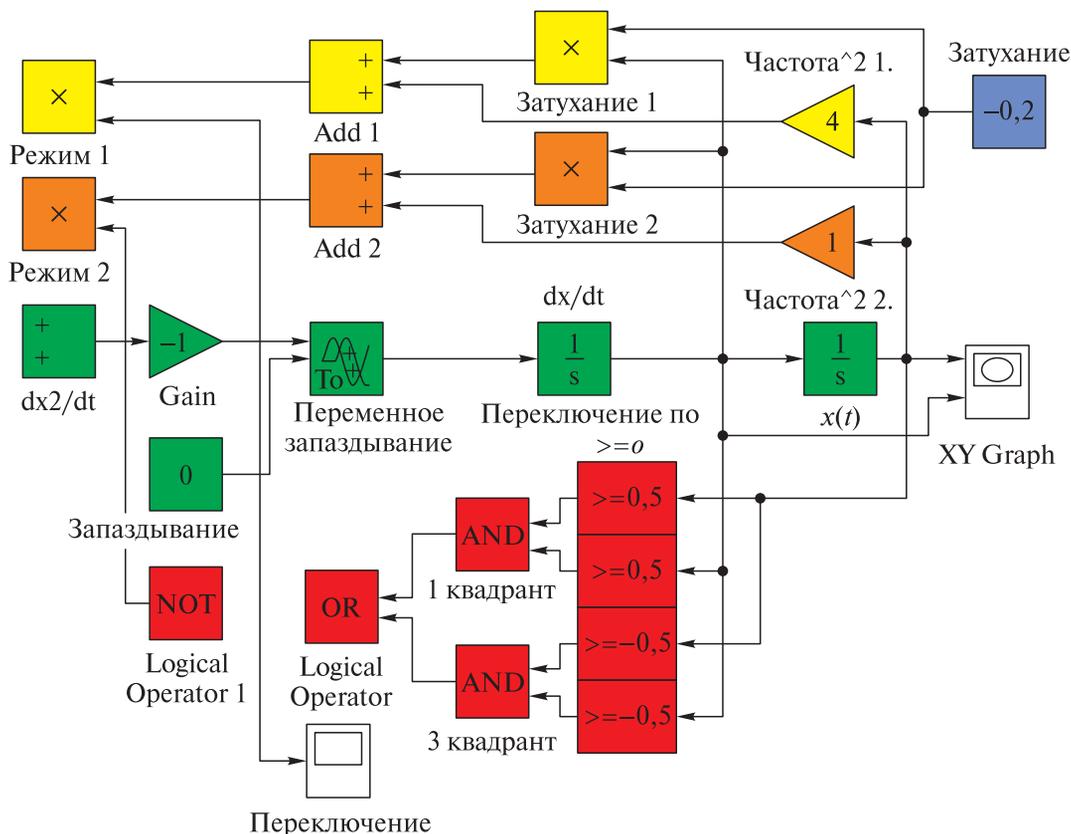


Рис. 3. Моделирование в среде Simulink  
Fig. 3. Simulation in the Simulink environment

Прямое моделирование проводилось в среде Matlab-Simulink (рис. 3). Выявлена следующая особенность: даже при неустойчивых исходных осцилляторах, т. е. при  $d < 0$ , возможно устойчивое движение в целом при любом начальном условии (см. рис. 2), выбрано  $d = -0,2$ .

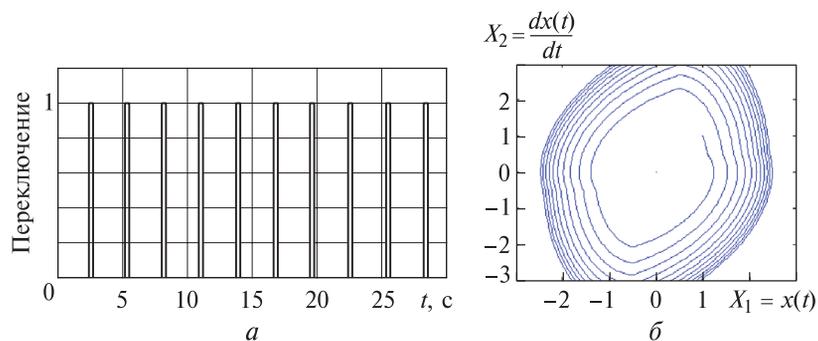
Следующие особенности поведения этой нелинейной системы:

1. Имеется устойчивый предельный цикл — автоколебания при любых начальных значениях и

начальном значении  $d = -0,2$ . Рис. 4, а показывает переключение осцилляторов, а рис. 4, б — наличие предельного цикла.

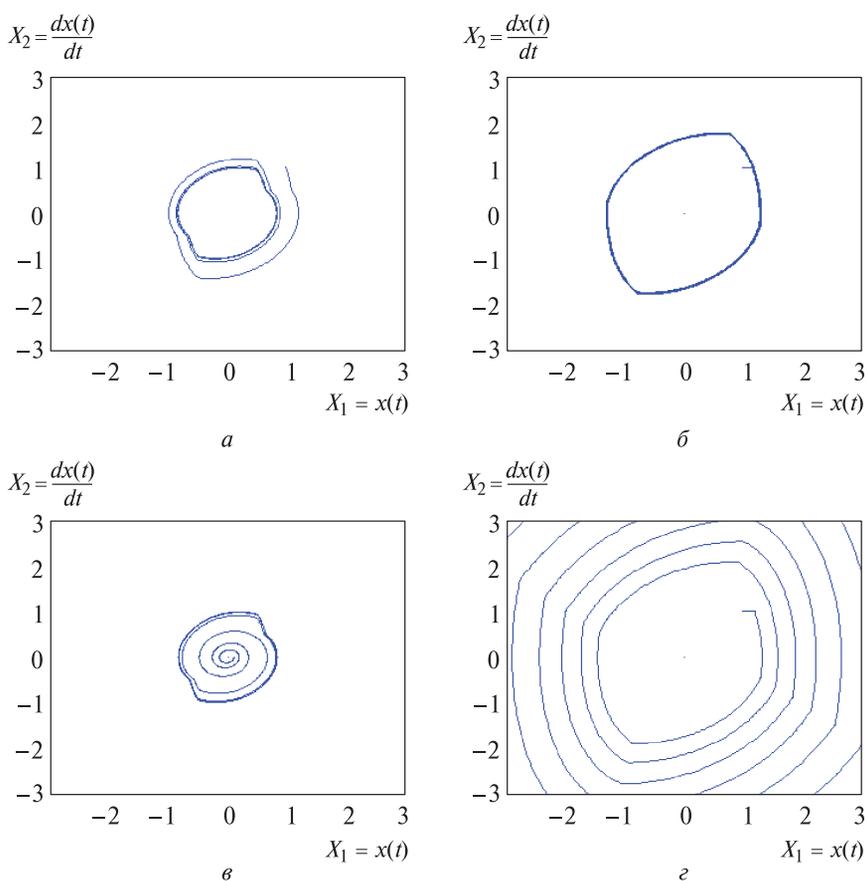
2. При увеличении степени неустойчивости осцилляторов (при большем по модулю  $d$ ) вся система становится неустойчивой.

3. При появлении запаздывания предельный цикл сохраняется до некоторого максимального значения запаздывания. На рис. 5, а, б запаздывание еще мало. На рис. 5, в имеет место случай



**Рис. 4.** Переключение структуры и потеря устойчивости при превышении неустойчивости осцилляторов  $d < -0,6$

**Fig. 4.** Switching of the structure and loss of stability when exceeding the instability of the oscillators  $d < -0,6$



**Рис. 5.** Эволюция предельного цикла при возрастании запаздывания. Устойчивость теряется при времени запаздывания  $\tau \approx 0,159$

**Fig. 5.** Evolution of the limit cycle with increasing delay. Stability is lost when the delay time  $\tau \approx 0,159$

граничного запаздывания. При дальнейшем увеличении запаздывания, рис. 5, г система теряет устойчивость.

Как рассчитать все эти эффекты, а именно: вычислить граничное условие на  $d$  и параметры цикла — частоту (период) и амплитуду и граничное затухание? Сделать это можно с учетом особенностей рассмотренной задачи:

– система нелинейная, негладкая и не содержит малого параметра [9].

– наличие запаздывания усложняет не только моделирование, но и расчет [1, 10–13].

Имеющиеся условия позволяют применить метод гармонической линеаризации [2, 3, 5, 6, 14], что обосновано представлением замкнутой системы как последовательного соединения линейной части (практически любой сложности и порядка) и нелинейной функции, заданной в фазовом пространстве. Сложное негармоническое (но периодическое!) колебание

на выходе нелинейного элемента, проходя линейную часть, лишается высших гармоник за счет спада амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) в ВЧ области. В нашем случае линейная часть — это просто двойной интегратор с запаздыванием и с наклоном логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАЧХ)  $-40$  дБ/декаду, что соответствует второму порядку дифференциального уравнения.

Коэффициенты гармонической линеаризации [2, 3, 5, 6, 14–21] имеют вид:

$$q(A, \omega) = 1 + \frac{3}{\pi} \left( \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{c}{A\omega} - \arcsin \frac{c}{A} \right), \quad (1)$$

$$r(A, \omega) = \frac{p}{\omega} \left( d\omega + \frac{3}{\pi} \left( 1 - \frac{c^2}{A^2} (1 + \omega^2) \right) \right). \quad (2)$$

Эти формулы получены путем объемных вычислений, которые здесь опущены в целях экономии места. Коэффициенты (1, 2) зависят не только от  $d$  и  $\omega$ , но от  $A$ , что дает возможность учета нелинейности, вычисления параметров предельного цикла и границ устойчивости. Теперь можно записать условие нахождения на границе устойчивости, так как при этом возможны периодические решения (граница Найквиста)

$$W(j\omega) \exp(-j\tau\omega) (q(A, \omega, d) + jr(A, \omega, d)) = -1. \quad (3)$$

Это условие есть комплексное уравнение, которое необходимо решить относительно  $A$  и  $\omega$  — амплитуды и частоты автоколебаний, то есть, параметров предельного цикла.

Для нахождения решения построим поверхность модуля этой комплексной функции, обращаемой в 0 (рис. 6).

Решение уравнения (3) — самая низкая точка графика. Переход к полулогарифмическим координатам на рис. 7 значительно упрощает нахождение решения, так как оно становится отчетливее выражено: отрицательный минимум при этом может достигать  $-100$  дБ. Оно легко находится в полулогарифмических координатах (см. рис. 7) и равно:  $\omega \approx 1,23$ ;  $A \approx 0,9$ , что соответствует данным моделирования.

Решение уравнения производим численным методом (последовательных приближений). Итерации метода сходятся к точке  $\omega \approx 1,233$ ;  $A \approx 0,92$ . Имеется и еще один корень, который также хорошо виден на графиках и находится численно:  $\omega \approx 0,78$ ;  $A \approx 0,69$ .

Однако с такими параметрами предельный цикл невозможен, так как не происходит переключения осцилляторов и система неустойчива. Это отражает тот факт, что условие (3) является лишь необходимым для существования периодических колебаний.

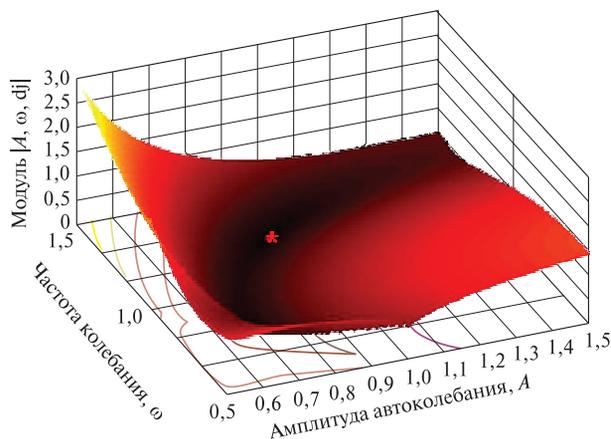


Рис. 6. Поверхность модуля (3),  $d = -0,2$ ,  $c = 0,5$ ; красная точка — решение  
 Fig. 6. The surface of module (3) in example 2,  $d = -0,2$ ,  $c = 0,5$ ; the red dot is the solution

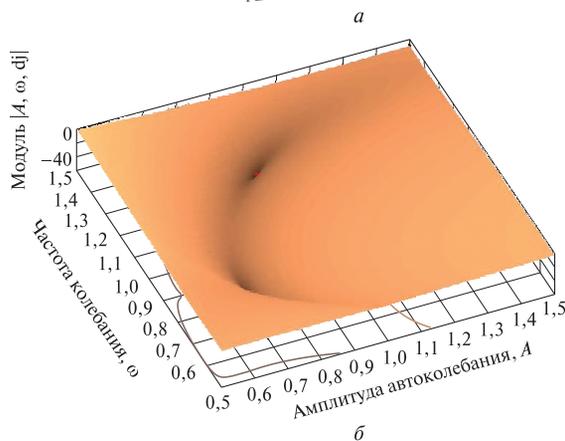
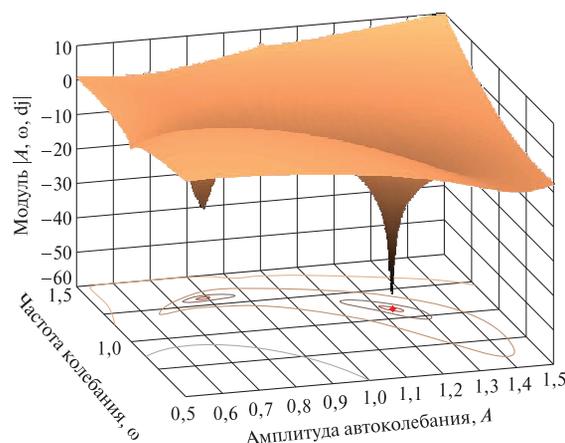
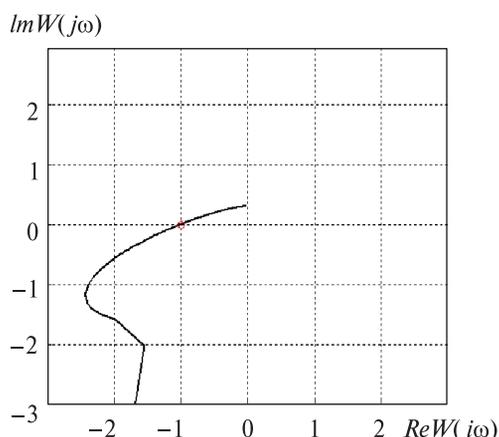
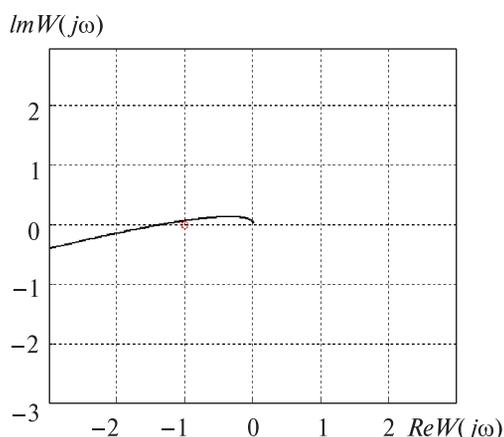


Рис. 7. Поверхность модуля (3) в полулогарифмических координатах: а, б — повороты рис. под разными углами  
 Fig. 7. The surface of the module (3) in semi-logarithmic coordinates: а, б — turns of the fig. at different angles

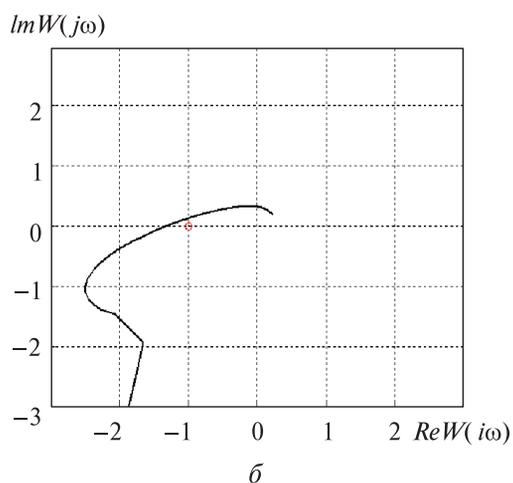
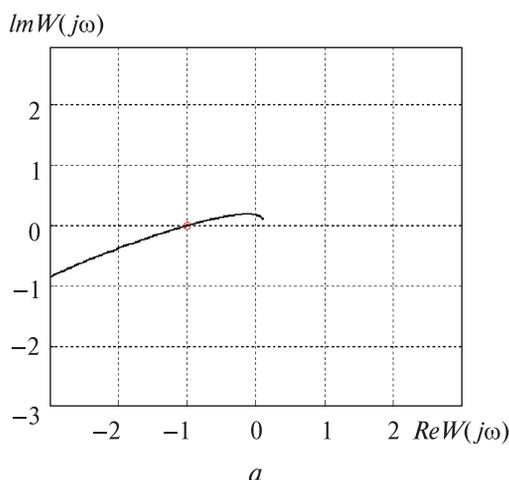
Теперь учтем запаздывание. Мнимая экспонента имеет единичный модуль, поэтому не участвует в уравнении для модуля, вытекающем из выражения (3). Но мы можем учесть запаздывание, построив график годографа амплитудно-фазочастотной характеристики (АФЧХ) на



**Рис. 8.** АФЧХ без запаздывания выполнены условия автоколебаний — прохождение чере точку  $-1$ . Амплитуда колебаний  $A \approx 0,92$ ,  $\omega \approx 1,233$   
**Fig. 8.** Frequency domain without lag, the conditions of self-oscillations are fulfilled — passing through the point  $-1$ . The oscillation amplitude is  $A \approx 0,92$ ,  $\omega \approx 1,233$



**Рис. 10.** Для запаздывания  $\tau \approx 0,2$  и более, не выполнены условия автоколебаний ни при каких амплитудах; общая неустойчивость  
**Fig. 10.** Lags are  $\tau \approx 0,2$  and more, conditions of self-oscillations are not fulfilled at any amplitudes; general instability



**Рис. 9.** Для запаздывания  $\tau \approx 0,159$  — не выполнены условия автоколебаний, колебания с  $A \approx 0,92$  невозможны (а), однако есть колебания с амплитудой  $A \approx 2$  (б)  
**Fig. 9.** For lagging  $\tau \approx 0,159$  are not fulfilled conditions of self-oscillations, oscillations with  $A \approx 0,92$  are not impossible (a), but there are oscillations with amplitude  $A \approx 2$  (б)

комплексной плоскости (рис. 8–10) и изучив условия его прохождения через точку  $(-1, j0)$  — условие Найквиста, что прояснит, почему исчезает предельный цикл при запаздывании большем  $\sim 0,159$ .

Проанализируем условие прохождение годографа через точку  $(-1; j0)$  в зависимости от запаздывания и находить возможные амплитуды автоколебаний, если такие имеются (рис. 9, 10). Выясняется, что при запаздывании более  $\sim 0,159$  таких амплитуд нет. Следовательно, предельный цикл разрушается, он невозможен, но возможен другой предельный цикл с амплитудой 2.

Наконец, при еще больших запаздываниях  $\tau$  на рис. 10 показано, что автоколебания не возможны ни при каких амплитудах.

### Выводы

Метод гармонической линеаризации совместно с компьютерным моделированием может быть эффективно использован для обнаружения колебаний негладких нелинейных систем с запаздыванием. Рассмотрен пример нелинейной системы с запаздыванием и проведен расчет характеристик этих колебаний. Получены параметры предельного цикла и границы устойчивости в зависимости от запаздывания.

### Список литературы

- [1] Емельянов С.В., Коровин С.К. Новые типы обратной связи. Управление при неопределенности. М.: Наука, 1997. 352 с.
- [2] Емельянов С.В., Уткин В.И. Об устойчивости движения одного класса САП с переменной структурой // Техническая кибернетика, № 2, 1964. С. 34–39
- [3] Методы классической и современной теории автоматического управления // Методы современной теории автоматического управления / под ред. К.А. Пупкова и Н.Д. Егупова. Т. 5. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. 784 с.

- [4] Уткин Ю.Ф. О применении прямого метода Ляпунова к некоторым системам с переменной структурой // Теория и средства автоматики. М.: Наука, 1968. 23 с.
- [5] Попов Е.П. Прикладная теория процессов управления в нелинейных системах. М.: Наука, 1973. 584 с.
- [6] Пупков К.А., Егупов Н.Д., Лукашенко Ю.Л. Матричные методы расчета и проектирования сложных систем автоматического управления для инженеров / под ред. К. А. Пупкова, Н. Д. Егупова. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. 664 с.
- [7] Первозванский А.А. Курс теории автоматического управления. М.: Наука, 1986. 616 с.
- [8] Колмановский В.Б., Носов В.Р. Устойчивость и периодические режимы регулируемых систем с последействием. М.: Наука, 1981. 448 с.
- [9] Солодовников В.В., Семенов В.В. Спектральная теория нестационарных систем управления. М.: Наука, 1974. 336 с.
- [10] Park P.A. Delay-dependent stability for systems uncertain time – invariant delays // IEEE Trans. on Automat. Control, 1999, v. 44, pp. 876–887.
- [11] Gao H., Chen T., Lam J. A new delay system approach to network based control // Automatica, 2008, v. 44, no 1, pp. 38–52.
- [12] Ivanescu D., Niculescu S.I., Dugard L., Dion J.M. Verriest E.I. On delay dependent stability of neutral systems // Automatica, 2003, v. 39, no 2, pp. 255–261.
- [13] Gao H., Chen T., Lam J. A new delay system approach to network based control // Automatica, 2008, v. 44, no 1, pp. 38–52.
- [14] Нелинейная оптимизация систем автоматического управления / под общ. ред. Е.П. Попова. М.: Машиностроение, 1970. 308 с.
- [15] Нелинейные нестационарные системы / Под ред. Ю.И. Топчеева. М.: Машиностроение, 1986. 334 с.
- [16] Солодовников В.В., Дмитриев А.Н., Егупов Н.Д. Спектральные методы расчета и проектирования систем управления. М.: Машиностроение, 1986. 440 с.
- [17] Волосов В.М., Моргунов Б.И. Метод осреднения в теории нелинейных колебательных систем. М.: МГУ, 1971. 508 с.
- [18] Барбашин Е.А. Введение в теорию устойчивости. М.: Наука, 1964. 224 с.
- [19] Ляпунов А.М. Общая задача об устойчивости движения. М.: Физматгиз, 1959. 470 с.
- [20] Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. 273 с.
- [21] Цыкунов А.М. Алгоритмы робастного управления с компенсацией ограниченных возмущений // Автоматика и телемеханика, 2007. № 7. С. 103–115.

## Сведения об авторах

**Туманов Михаил Петрович** — канд. техн. наук, доцент, профессор Департамента электронной инженерии МИЭМ НИУ ВШЭ, miketum@mail.ru

**Серебrennikov Павел Семенович** — канд. физ.-мат. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), serebrennikov@mgul.ac.ru

**Абдуллин Салават Роальдович** — ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), mai-sal@yandex.ru

Поступила в редакцию 30.10.2019.

Принята к публикации 17.12.2019.

## THE STUDY OF OSCILLATIONS IN CONTROL SYSTEMS WITH VARIABLE STRUCTURE WITH LAGGING

M.P. Tumanov<sup>1</sup>, P.S. Serebrennikov<sup>2</sup>, S.R. Abdullin<sup>2</sup>

<sup>1</sup>MIEM HSE, 34 Tallinskaya Ulitsa, 123458, Moscow, Russia

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

miketum@mail.ru

The article explores nonlinear oscillatory processes that occur in systems with variable parameters with delay. In practice, there are often systems in which the parameters are switched depending on certain operating conditions, while for each value of the parameters the system remains linear, but in general, of course, it is non-linear and has a delay. Effective methods of practical research of such systems have not been sufficiently studied to be fully used in the practice of automatic control. The presence of lag further complicates the task. Typical for such systems is the occurrence of self-oscillations, the stability and parameters of which must be calculated. Also of interest is the question of the existence of limit cycles and their disappearance. The article on the basis of solving a typical problem shows the effectiveness of the analytical calculation of the self-oscillation parameters in cases where conventional research methods are difficult. The calculation results are confirmed by modeling in the Matlab environment. It is shown that the harmonic linearization method together with computer simulation can be effectively used to detect oscillations of nonsmooth nonlinear systems with delay. It is shown that the harmonic linearization method together with computer simulations can be effectively used to detect oscillations of nonsmooth nonlinear systems with delay. An example of a nonlinear system with delay is considered, and the characteristics of these oscillations are calculated. The accuracy of the method is estimated. The parameters of the limit cycle and stability limits are obtained depending on the delay. The results of calculations are presented in a visual graphic form.

**Keywords:** nonlinear oscillations, limit cycle, stability, delay, variable structure

**Suggested citation:** Tumanov M.P., Serebrennikov P.S., Abdullin S.R. *Issledovanie kolebaniya v sistemakh upravleniya s peremennoy strukturoy s uchedom zapazdyvaniya* [The study of oscillations in control systems with variable structure with lagging]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 117–123. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-117-123

## References

- [1] Emel'yanov S.V., Korovin S.K. *Novye tipy obratnoy svyazi. Upravlenie pri neopredelennosti* [New types of feedback. Management under uncertainty]. Moscow: Nauka, 1997, 352 p.
- [2] Emel'yanov S.V., Utkin V.I. *Ob ustoychivosti dvizheniya odnogo klassa SAR s peremennoy strukturoy* [On the stability of motion of one class of ATS with variable structure] *Tekhnicheskaya kibernetika* [Technical Cybernetics], 1964, no. 2, pp. 34–39
- [3] *Metody klassicheskoy i sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of the classical and modern theory of automatic control]. *Metody sovremennoy teorii avtomaticheskogo upravleniya* [Methods of the modern theory of automatic control]. Ed. K.A. Pupkov, N.D. Egupov. T. 5. Moscow: Publishing house of MSTU. N.E. Bauman, 2004, 784 p.
- [4] Utkins Yu.F. *O primenenii pryamogo metoda Lyapunova k nekotorym sistemam s peremennoy strukturoy* [On the application of the direct Lyapunov method to some systems with variable structure] *Teoriya i sredstva avtomatiki* [Theory and Automation Tools]. Moscow: Nauka, 1968, 23 p.
- [5] Popov E.P. *Prikladnaya teoriya protsessov upravleniya v nelineynykh sistemakh* [Applied theory of control processes in nonlinear systems]. Moscow: Nauka, 1973, 584 p.
- [6] Pupkov K.A., Egupov N.D., Lukashenko Yu.L. *Matrichnye metody rascheta i proektirovaniya slozhnykh sistem avtomaticheskogo upravleniya dlya inzhenerov* [Matrix methods of calculation and design of complex automatic control systems for engineers]. Ed. K.A. Pupkov, N.D. Egupov. Moscow: Publishing House of MSTU N.E. Bauman, 2007, 664 p.
- [7] Pervozvanskiy A.A. *Kurs teorii avtomaticheskogo upravleniya* [The course of the theory of automatic control]. Moscow: Nauka, 1986, 616 p.
- [8] Kolmanovskiy V.B., Nosov V.R. *Ustoychivost' i periodicheskie rezhimy reguliruemyykh sistem s posledeystviem* [Stability and periodic modes of regulated systems with aftereffect]. Moscow: Nauka, 1981, 448 p.
- [9] Solodovnikov V.V., Semenov V.V. *Spektral'naya teoriya nestatsionarnyykh sistem upravleniya* [The spectral theory of non-stationary control systems]. Moscow: Nauka, 1974, 336 p.
- [10] Park P.A. Delay-dependent stability for systems uncertain time - invariant delays. *IEEE Trans. on Automat. Control*, 1999, v. 44, pp. 876–887.
- [11] Gao H., Chen T., Lam J. A new delay system approach to network based control. *Automatica*, 2008, v. 44, no 1, pp. 38-52.
- [12] Ivanescu D., Niculescu S.I., Dugard L., Dion J.M. Verriest E.I. On delay dependent stability of neutral systems. *Automatica*, 2003, v. 39, no 2, pp. 255–261.
- [13] Gao H., Chen T., Lam J. A new delay system approach to network based control. *Automatica*, 2008, v. 44, no 1, pp. 38-52.
- [14] *Nelineynaya optimizatsiya sistem avtomaticheskogo upravleniya* [Nonlinear optimization of automatic control systems]. Ed. E.P. Popov. Moscow: Engineering, 1970, 308 p.
- [15] *Nelineynye nestatsionarnyye sistemy* [Nonlinear non-stationary systems]. Ed. Yu.I. Topcheev. Moscow: Engineering, 1986, 334 p.
- [16] Solodovnikov V.V., Dmitriev A.N., Egupov N.D. *Spektral'nye metody rascheta i proektirovaniya sistem upravleniya* [Spectral methods of calculation and design of control systems]. Moscow: Engineering, 1986, 440 p.
- [17] Volosov V.M., Morgunov B.I. *Metod osredneniya v teorii nelineynykh kolebatel'nykh sistem* [Averaging method in the theory of nonlinear oscillatory systems]. Moscow: Moscow State University, 1971, 508 p.
- [18] Barbashin E.A. *Vvedenie v teoriyu ustoychivosti* [Introduction to sustainability theory]. Moscow: Nauka, 1964, 224 p.
- [19] Lyapunov A.M. *Obshchaya zadacha ob ustoychivosti dvizheniya* [The general problem of traffic stability]. Moscow: Fizmatgiz, 1959, 470 p.
- [20] Polyak B.T., Shcherbakov P.S. *Robastnaya ustoychivost' i upravlenie* [Robust stability and control]. Moscow: Nauka, 2002, 237 p.
- [21] Tsykunov A.M. *Algoritmy robastnogo upravleniya s kompensatsiyey ogranichennykh vozmushcheniy* [Robust control algorithms with compensation for bounded disturbances] *Avtomatika i telemekhanika* [Automation and Remote Control], 2007, no. 7, pp. 103–115.

## Authors' information

**Tumanov Mikhail Petrovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, Professor, MIEM HSE, miketum@mail.ru

**Serebrennikov Pavel Semenovich** — Cand. Sci. (Phis.-Math.), Associate Professor of the BMSTU (Mytishchi branch), serebrennikov@mgul.ac.ru

**Abdullin Salavat Roal'dovich** — Senior Lecturer of the BMSTU (Mytishchi branch), mai-sal@yandex.ru

Received 30.10.2019.

Accepted for publication 17.12.2019.

## РАЗРАБОТКА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ БЕСТАРНОГО ХРАНЕНИЯ МУКИ

Е.Б. Карелина<sup>1</sup>, Д.Ю. Клехо<sup>2</sup>, Ю.П. Батырев<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Московский государственный университет пищевых производств», 125080, г. Москва, Волоколамское шоссе, д. 11

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Российский государственный гуманитарный университет», 125993, г. Москва, Миусская площадь, д. 6

<sup>3</sup>МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Liza200785@gmail.com

Рассмотрена разработка нейросетевого регулятора (НС-Р) в виде информационно-вычислительного комплекса, основу которого составляет нейронная сеть прямого распространения типа многослойный персептрон с одним скрытым слоем и тремя выходными параметрами. Приведено подробное описание основных этапов создания НС-Р и его интеграции в технологический процесс. Представлена структура, позволяющая осуществить сбор данных, структурировать их в базе, передать на нейронную сеть, произвести при необходимости обучение и направить преобразованную информацию в модуль формирования решения для адаптивного управления. Разработана имитационная модель технологического процесса хранения муки в среде AnyLogic с включенным НС-Р в виде программного модуля. Показано, что использование НС-Р позволит снизить общее время созревания муки, поддержать качественные параметры на стабильном уровне без существенных перепадов, а также исключить случайные ошибки, обусловленные человеческим фактором.

**Ключевые слова:** система управления, микроклимат, силос, бестарное хранение, нейросетевой регулятор, структура, искусственная нейронная сеть

**Ссылка для цитирования:** Карелина Е.Б., Клехо Д.Ю., Батырев Ю.П. Разработка интеллектуальной системы управления технологическим процессом бестарного хранения муки // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2020. Т. 24. № 1. С. 124–130. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-124-130

В настоящее время в РФ большое значение придается развитию сельского хозяйства и пищевой промышленности. В связи с этим возросли требования к качеству и безопасности готового продукта, которые бы обеспечивали его конкурентоспособность. Среди множества отраслей пищевой промышленности одной из важнейших признана мукомольная. Наряду с производством муки, соответствующим стандартам и требованиям безопасности, важнейшее значение имеют ее хранение и созревание [1–4].

### Цель работы

Целью работы является повышение эффективности технологического процесса хранения муки и адаптационных свойств системы управления технологическим процессом в целом.

### Материалы и методы

На современных мелькомбинатах применяют бестарный способ хранения муки в силосах, который позволяет упростить и улучшить процесс хранения, однако не обеспечивает стабилизацию режимных параметров технологического процесса и подвержен различным возмущающим факторам. Это может изменить показатели качества хранимого сырья, в частности вызвать превышение их предельно-допустимых значений, т.е. к порче муки. Для обеспечения высокого качества муки при ее бестарном хра-

нении и созревании целесообразно управлять параметрами микроклимата в силосе, поскольку они напрямую взаимосвязаны между собой. Используя данные множественных литературных источников и, исходя из опыта технологов, в качестве параметров микроклимата выбраны температура и влажность воздуха, а также содержание углекислого газа в силосе, наличие которого недопустимо при хранении и созревании муки [5, 13].

На практике для стабилизации отдельных параметров микроклимата наиболее часто используют автоматические регуляторы, а выбор стратегии и режима управления осуществляется на усмотрение операторов-технологов. Такой подход не позволяет достичь высокого уровня автоматизации, необходимого в современных условиях и сильно подвержен человеческому фактору. Классические ПИД-регуляторы не могут учесть нелинейное влияние множества возмущающих факторов на регулируемые параметры микроклимата. Достижение высокого качества возможно с помощью адаптивных автоматизированных систем управления технологическими процессами. Для их создания предлагается внедрение и использование интеллектуальных технологий в существующую автоматизированную систему. Наиболее перспективным здесь представляется разработка и интеграция НС-Р.

## Результаты и обсуждение

Реализация НС-Р включает в себя этапы изучения технологического процесса как объекта автоматизации и внедрения интеллектуальных технологий в производство (рис. 1).

На всех этапах разработки НС-Р следует вести и использовать базы данных, включающие в себя автоматически измеряемые, контролируемые и управляющие параметры. Кроме того, важно сформулировать правила ведения технологического процесса бестарного хранения муки в силосах для дальнейшего формирования управляющих воздействий НС-Р.

Разработанный НС-Р выполнен в виде информационно-вычислительного комплекса (рис. 2) [6].

Основными элементами данного комплекса являются база данных, нейронная сеть, модуль обучения и модуль формирования решения. От SCADA — системы Trace Mode (использовать можно любую Scada) на вход НС-Р подается информация об автоматически измеряемых параметрах (контролируемых, контролирующих и возмущающих), которая поступает в базу данных и определенным образом структурируется в ней. Далее информация поступает на модуль обучения, где собственно и происходит обучение нейросети по определенному алгоритму. Вместе с входными параметрами база данных также передает на нейросеть предыдущие значения параметров микроклимата, значения управляющих воздействий и информацию об исходном качестве сырья. Это необходимо для придания динамических свойств данной нейронной сети [7, 11, 12, 17].

Далее обученная нейросеть посредством модуля формирования решения выдает рекомендации об управлении технологическим процессом оператору-технологу либо направляет управляющие воздействия непосредственно на исполнительные механизмы, при полной автоматизации режима управления. Соответственно, на выходе НС-Р выдаются физические величины управляющего воздействия на температуру  $V_T(t)$ , влажность  $V_M(t)$ , а также управляющее воздействие, исключающее появление  $\text{CO}_2$  в силосе —  $V_{\text{CO}_2}(t)$ .

В основе НС-Р лежит нейронная сеть прямого распространения типа «многослойный перцептрон» с одним скрытым слоем и тремя выходными параметрами. В данной сети каждый нейрон предыдущего слоя связан со всеми нейронами последующего слоя (рис. 3).

На входной слой нейросети подается вектор входных параметров  $X_n$  (таблица). Каждый нейрон скрытого слоя подает на нейроны выходного слоя сигнал весов синаптических связей. Таковых нейронов в скрытом слое — 11. Вес синаптических связей между  $h$ -м нейроном скрытого слоя и  $m$ -м нейроном выходного слоя обозначены через  $w_{hm}$ . Изменение синаптического веса происходит по градиентному методу обратного распространения ошибки. Обучение нейросети проводилось с учителем.

Взаимодействие искусственной нейронной сети с обратным распространением ошибки может эффективно решать задачи, связанные с недостаточной определенностью параметров ПИД-управления. Это объясняется возможностью нейронной сети аппроксимировать любую нелинейную функцию, простотой структуры сети и особенностями алгоритма обучения.

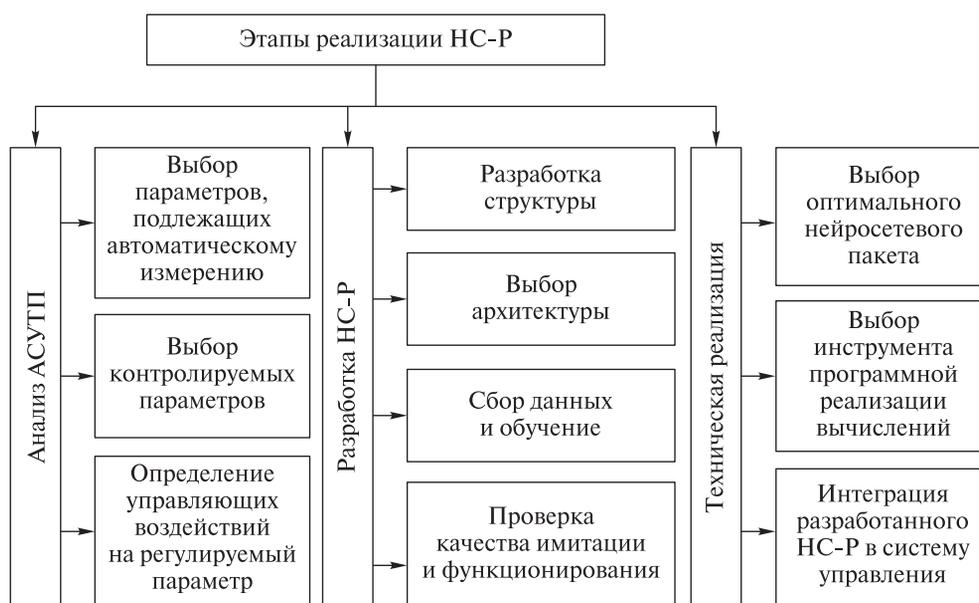


Рис. 1. Схема реализации НС-Р

Fig. 1. The implementation scheme of the NS-R

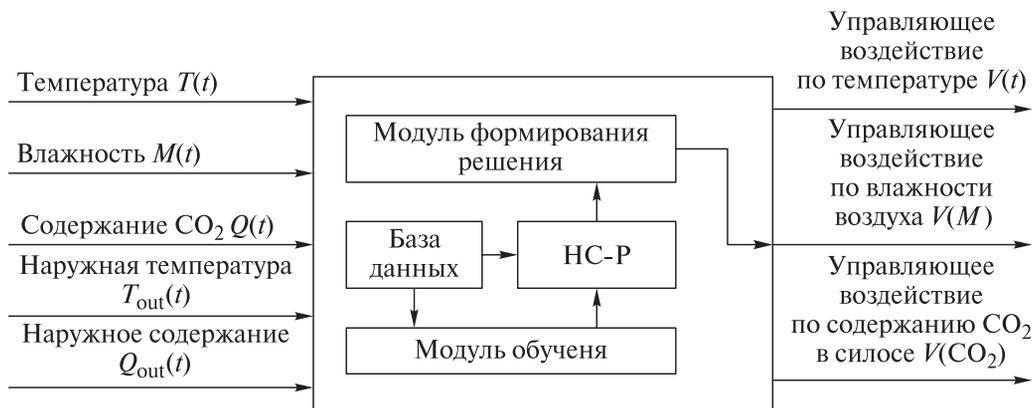


Рис. 2. Структура НС-Р  
 Fig. 2. The structure of the NS-R

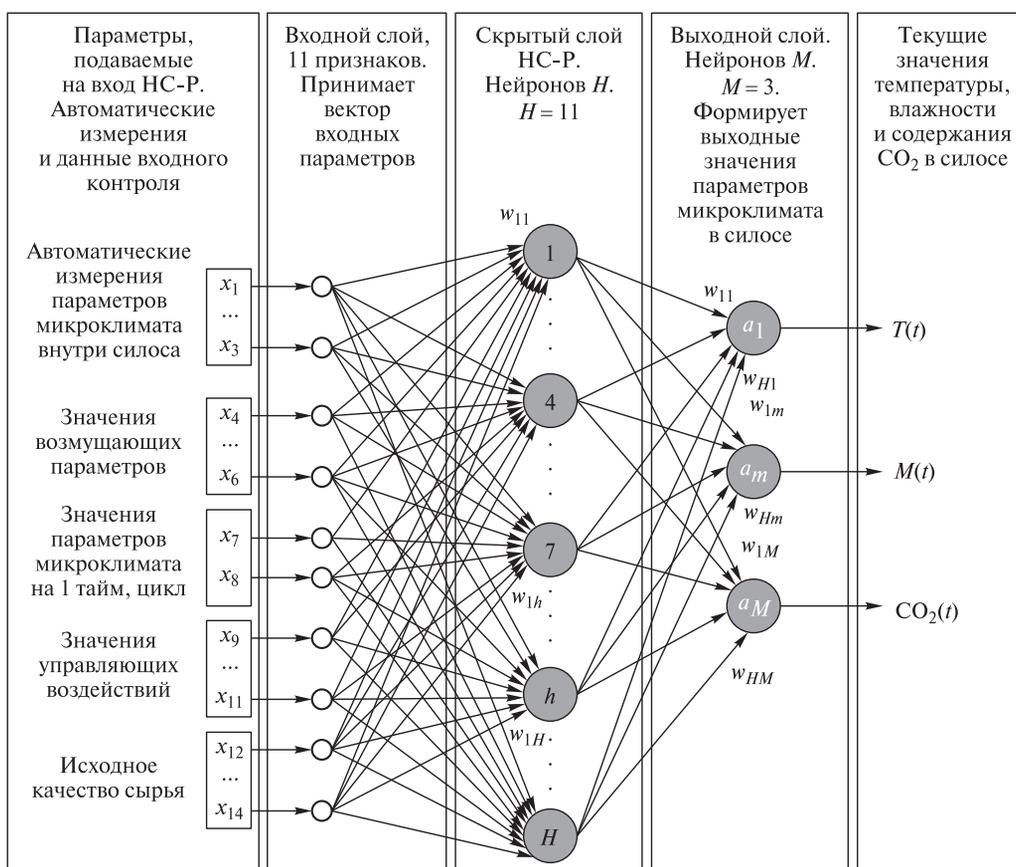


Рис. 3. Структура искусственной нейронной сети с тремя выходными параметрами  
 Fig. 3. The structure of an artificial neural network with three output parameters

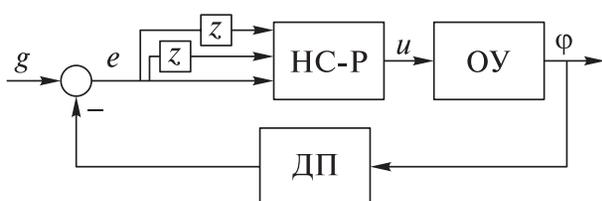
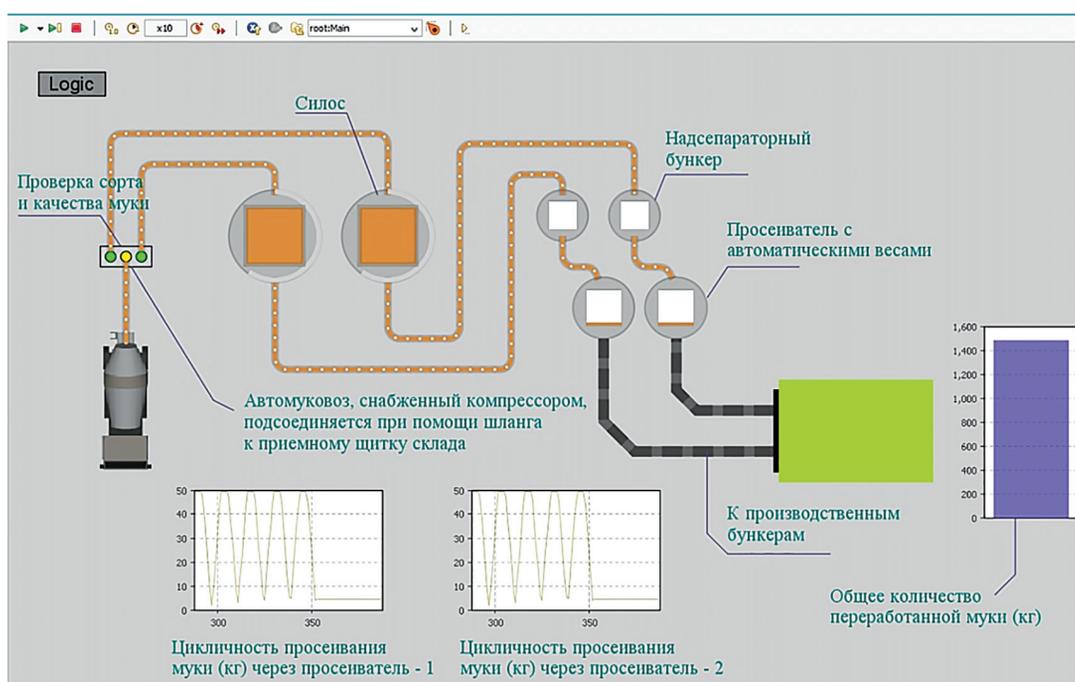


Рис. 4. Структурная схема системы управления с использованием НС-Р: НР — нейросетевой регулятор; ДП — датчик сбора параметров технологического процесса; ОУ — объект управления  
 Fig. 4. The structural diagram of the control system using NS-R: НР — нейросетевой регулятор; ДП — sensor for collecting process parameters; ОУ — control object

**Параметры, подаваемые на вход нейросети**  
**Parameters supplied to the neural network input**

Обозначение	Параметр	Обозначение	Параметр
$X_1$	Температура внутри силоса, $T(t)$	$X_8$	Предыдущее значение влажности воздуха внутри силоса, $M(t-1)$
$X_2$	Влажность воздуха внутри силоса, $M(t)$	$X_9$	Количество тепла за единицу времени, поступающее от системы обогрева, $Q_{\text{пост}}(t)$
$X_3$	Содержание $\text{CO}_2$ в силосе, $Q_{\text{CO}_2}$	$X_{10}$	Количество свежего воздуха, поступающего в силос от системы вентиляции, $G_{\text{свеж}}(t)$
$X_4$	Температура наружного воздуха, $T_{\text{н}}(t)$	$X_{11}$	Расход пара от системы увлажнения в силосе, $G_{\text{пар}}(t)$
$X_5$	Влажность свежего воздуха, $M_{\text{н}}(t)$	$X_{12}$	Температура поступившей в силос муки, $T_{\text{м}}(t)$
$X_6$	Содержание $\text{CO}_2$ в приходящем воздухе	$X_{13}$	Влажность поступившей в силос муки, $M_{\text{м}}(t)$
$X_7$	Предыдущее значение температуры воздуха внутри силоса, $T(t-1)$	$X_{14}$	Масса созревающей в силосе муки, $W_{\text{м}}(t)$



**Рис. 5.** Имитационная модель технологического процесса бестарного хранения муки  
**Fig. 5.** The simulation model of flour bulk storage technological process

Данная нейронная сеть непосредственно выполняет функции регулятора.

На структурной схеме (рис. 4) представлен классический контур регулирования контролируемых параметров.

В контур управления включен НС-Р, на вход которого подаются параметры  $g$ , рассогласование от обратной связи  $e$ , а также предыдущие значения регулируемых параметров на один или два таймерных цикла, в зависимости от динамики системы. Приходящие на НС-Р данные обрабатываются и формируется управляющее воздействие  $U$ , передаваемое на объект управления, т. е. исполнительные механизмы, отвечающие за регулировку необходимых параметров [8, 10, 15, 16].

Проводить эксперименты и каждый раз тестировать разработанный НС-Р на реальном технологическом объекте достаточно сложно, а иногда невозможно. В связи с этим была создана двумерная имитационная модель технологического процесса бестарного хранения муки (рис. 5) с подключенной к ней реальной базой данных о режимных параметрах в среде AnyLogic [19, 20].

Данная модель придает реальную динамику системе, включает два временных графика, описывающих цикличность просеивания муки (кг) и столбиковую диаграмму для отображения информации об общем количестве муки, прошедшей этап обработки [9, 14, 18]. Все параметры модели поддаются регулированию для имитации конкретного объема данного технологического процесса

при изменяющихся внешних условиях и возмущающих факторах. НС-Р включен в виде программного модуля, реализующего управляющие воздействия. Имитационная модель (см. рис. 5) при использовании НС-Р демонстрирует снижение общего времени созревания муки, поддержку качественных параметров на стабильном уровне без существенных перепадов, исключение случайных ошибок, обусловленных человеческим фактором.

## Выводы

Разработка и интеграция НС-Р в автоматической системе управления технологическим процессом склада бестарного хранения муки позволяет:

- повысить эффективность производства вследствие сокращения времени созревания муки;
- с большей точностью управлять режимными параметрами;
- уменьшить материальные и ресурсные потери за счет уменьшения процента порчи продукции;
- повысить адаптационные свойства всей системы управления.

## Список литературы

- [1] Савостин С.Д., Жирнова Е.В. Создание системы менеджмента качества на мукомольном предприятии, методические и практические решения // *Материалы I Междунар. науч.-техн. конф. «Планирование и обеспечение подготовки и переподготовки кадров для отраслей пищевой промышленности и медицины»*. Москва, МГУПП, 13–14 ноября 2012 г. М.: МГУПП, 2012. С. 38–41.
- [2] Виноградов А.И., Савостин С.Д., Благовещенская М.М. Автоматизация размольного отделения мукомольного производства // *Сб. науч. трудов III Междунар. форума «Инновационные технологии обеспечения безопасности и качества продуктов питания. Проблемы и перспективы»*. Москва, МГУПП, 12–14 марта 2014 г. М.: МГУПП, 2014. Ч. 2. С. 13–18.
- [3] Стрелков Е.В., Савостин С.Д. Задачи повышения эффективности автоматизированного контроля на мукомольном производстве // *Русский инженер*, 2014. № 1 (40). С. 50–51.
- [4] Шаверин А.В. Автоматизация контроля показателей вкуса шоколадных изделий: дис. ... канд. техн. наук. М., 2009. 148 с.
- [5] Карелина Е.Б., Клехо Д.Ю. Программные комплексы для изучения нейросетевых систем управления // *Сб. науч. трудов I науч.-практ. конф. «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста»*. Москва, МГУПП, 29–30 ноября 2018 г. М.: МГУПП, 2018. С. 681–686.
- [6] Карелина Е.Б., Клехо Д.Ю. Разработка алгоритма работы интеллектуального комплекса для адаптивного управления технологическим процессом бестарного хранения муки // *Сб. науч. трудов I науч.-практ. конф. «Передовые пищевые технологии: состояние, тренды, точки роста»*. Москва, МГУПП, 29–30 ноября 2018 г. М.: МГУПП, 2018. С. 687–692.
- [7] Благовещенская М.М., Злобин Л.А. Информационные технологии систем управления технологическими процессами. М.: Высшая школа, 2010. 768 с.
- [8] Елисеев В.Л. Разработка и исследование нейросетевых алгоритмов управления стационарными и нестационарными объектами: дис. ... канд. техн. наук. М., 2012. 208 с.
- [9] Ивашкин Ю.А., Назойкин Е.А. Моделирование систем. Структурно-параметрические и агентно-ориентированные технологии. М.: МГУПП, 2010. 134 с.
- [10] Благовещенская М.М., Благовещенский И.Г., Назойкин Е.А. Методика автоматической оценки качества пищевых изделий на основе теории искусственных нейронных сетей // *Пищевая промышленность*, 2015, № 2. С. 42–45.
- [11] Донской Д.А. Моделирование искусственных нейронных сетей в системе Matlab. Ч. 3. Радиальные базисные сети: метод. Пенза: Пензенский гос. ун-т, 2005. 63 с.
- [12] Нестеров А.Л. Проектирование АСУТП. Кн. 1. СПб.: Деан, 2006. 551 с.
- [13] Савостин С.Д. Автоматизация контроля показателей качества муки в процессе размола с использованием интеллектуальных технологий: дисс. ... канд. техн. наук. М., МГУПП, 2014.
- [14] Благовещенская М.М. Основы стабилизации процессов приготовления многокомпонентных пищевых масс. М.: Франтера, 2009. 281 с.
- [15] Пешко М.С. Адаптивная система управления параметрами микроклимата процессов производства и хранения пищевых продуктов: дис. ... канд. техн. наук. Омск, 2015.
- [16] Семенов В.Г. Математическая модель микроклимата теплицы // *Известия ВолгГТУ*, 2009. № 6. С. 32–35.
- [17] Васильев В.И., Ильясов Б.Г. Интеллектуальные системы управления. М.: Радиотехника, 2009. 392 с.
- [18] Balykhin M.G., Blagoveshchenskaya M.M., Blagoveshchensky I.G., Karelina E.B. Development of train aid on discipline «Quality management» in system of higher education // *5-th Int. conf. on social sciences and arts. SGEM. Ser. Ancience science*, 2018. Pp. 197–204.
- [19] Благовещенская М.М., Назойкин Е.А., Благовещенский И.Г., Карелина Е.Б. Использование множества алгоритмов идентификации при реализации адаптивных систем управления // *Сб. материалов XV междунар. науч. конф. студентов и молодых ученых «Живые системы и биологическая безопасность населения»*. Москва, МГУПП, 2017. М.: МГУПП, 2017. С. 105–108.
- [20] Назойкин Е.А., Благовещенский И.Г. Идентификация производственных процессов с использованием методов имитационного моделирования // *Материалы конф. «Современное состояние и перспективы развития упаковки в пищевой промышленности»*, Москва, МГУПП, 5 апреля 2018 г. М.: МГУПП, С. 97–102.

## Сведения об авторах

**Карелина Екатерина Борисовна** — ст. преподаватель кафедры «Автоматизированные системы управления биотехнологическими процессами», Московский государственный университет пищевых производств, Liza200785@gmail.com

**Клехо Дмитрий Юрьевич** — доцент кафедры «Информационные технологии и системы», Российский государственный гуманитарный университет, канд. техн. наук, Kleho62@mail.ru

**Батырев Юрий Павлович** — доцент кафедры «Системы автоматического управления», канд. техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), batyrev@mgul.ac.ru

Поступила в редакцию 11.09.2019.

Принята к публикации 09.12.2019.

## DEVELOPMENT OF AN INTELLIGENT PROCESS CONTROL SYSTEM FOR FLOUR BULK STORAGE

E.B. Karelina<sup>1</sup>, D.Yu. Klekho<sup>2</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Moscow State University of Food Production, 11, Volokolamskoe Shosse, 125080, Moscow, Russia

<sup>2</sup>Russian State University for the Humanities, 6, Miusskaya square, 125993, Moscow, Russia

<sup>3</sup>BMSTU (Mytishchi branch), 1, 1st Institutskaya st., 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

Liza200785@gmail.com

The flour milling industry is one of the most popular industries in the Russian Federation. In this regard, the requirements for the quality of raw materials and finished products are increasing. It is not enough just to grind the flour, it is very important to maintain and improve its quality indicators in the process of maturation and storage. These processes are quite complex, with many interrelated factors. Classic regulators will not be able to solve this problem, so it is advisable to use intelligent technology to create adaptive process control. The article proposes the development of a neural network controller in the form of an information-computing complex, which is based on a neural network of direct propagation type multilayer perceptron with one hidden layer and three output parameters. The main stages of the neuroregulator creation and its integration into the technological process are given and described in detail. The structure consisting of four elements allowing to carry out data collection, to structure them in base, to transfer on a neural network, to make if necessary training and to direct the pre-formed information in the module of formation of the decision for adaptive management is presented. A simulation model of the technological process of flour storage in AnyLogic environment, with the included neural network controller in the form of a software module, showing that the use of the neuroregulator will reduce the total time of flour maturation, maintain quality parameters at a stable level without significant differences, and eliminate accidental errors caused by the human factor.

**Keywords:** control system, microclimate, silo, bulk storage, neural network controller, structure, artificial neural network

**Suggested citation:** Karelina E. B., Klekho D. Yu., Batyrev Yu.P. *Razrabotka intellektual'noy sistemy upravleniya tekhnologicheskimi protsessom bestarnogo khraneniya muki* [Development of an intelligent process control system for flour bulk storage]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2020, vol. 24, no. 1, pp. 124–130. DOI: 10.18698/2542-1468-2020-1-124-130

## References

- [1] Savostin S.D., Zhirnova E.V. *Sozdanie sistemy menedzhmenta kachestva na mukomol'nom predpriyatii, metodicheskie i prakticheskie resheniya* [Creation of quality management system at the flour mill, methodical and practical solutions] *Materialy I Mezhd. nauchno-tekhn. konf. «Planirovanie i obespechenie podgotovki i perepodgotovki kadrov dlya otrasley pishchevoy promyshlennosti i meditsiny»* [Materials I Int. scientific and technical conf. "Planning and ensuring the training and retraining of personnel for the food industry and medicine", Moscow, MGUPP, November 13–14, 2012. M.: MGUPP, 2012. P. 38–41.] Moscow: MGUPP, 2012, pp. 38–41.
- [2] Vinogradov A.I., Savostin S.D., Blagoveshchenskaya M.M. *Avtomatizatsiya razmol'nogo otdeleniya mukomol'nogo proizvodstva* [Automation of the mill production grinding compartment] *Sb. nauchnykh trudov III Mezhd. foruma «Innovatsionnye tekhnologii obespecheniya bezopasnosti i kachestva produktov pitaniya. Problemy i perspektivy»* [Innovative technologies to ensure food safety and quality. Challenges and prospects: Collected papers] Moscow, MGUPP, March 12–14, 2014. Moscow: MGUPP, 2014, part 2, pp. 13–18.
- [3] Strelkov E.V., Savostin S.D. *Zadachi povysheniya effektivnosti avtomatizirovannogo kontrolya na mukomol'nom proizvodstve* [The problem of increasing the effectiveness of automated control for the milling industry] *Russkiy inzhener* [Russian engineer], 2014, no. 1 (40), pp. 50–51.

- [4] Shaverin A.V. *Avtomatizatsiya kontrolya pokazateley vkusa shokoladnykh izdeliy* [Automation of control chocolate products taste indicators] Diss. kand. tekhn. nauk [Dis. Sci. (Tech.)]. Moscow, 2009, 148 p.
- [5] Karelina E.B., Klekko D.Yu. *Programmnye komplekсы dlya izucheniya neyrosetevykh sistem upravleniya* [Software systems for the study of neural network control systems] Sbornik nauchnykh trudov I nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Peredovye pishchevye tekhnologii: sostoyanie, trendy, tochki rosta». [Advanced food technologies: status, trends, points of growth: Collected papers]. Moscow, MGUPP, November 29–30, 2018. Moscow: MGUPP, 2018, pp. 681–686.
- [6] Karelina E.B., Klekko D.Yu. *Razrabotka algoritma raboty intellektual'nogo kompleksa dlya adaptivnogo upravleniya tekhnologicheskim protsessom bestarnogo khraneniya muki* [Development of the intelligent complex algorithm for adaptive control of the technological process of flour bulk storage] Sbornik nauchnykh trudov I nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Peredovye pishchevye tekhnologii: sostoyanie, trendy, tochki rosta» [Advanced food technologies: status, trends, points of growth: Collected papers] Moscow, MGUPP, November 29–30, 2018. Moscow, MGUPP, 2018, pp. 687–692.
- [7] Blagoveshchenskaya M.M., Zlobin L.A. *Informatsionnye tekhnologii sistem upravleniya tekhnologicheskimi protses-sami* [Information technologies of process control systems]. Moscow: Vysshaya shkola [Higher school], 2010. 768 p.
- [8] Eliseev V.L. *Razrabotka i issledovanie neyrosetevykh algoritmov upravleniya statsionarnymi i nestatsionarnymi ob'ektami* [Development and research of neural network control algorithms for stationary and non-stationary objects] Diss. kand. tekhn. nauk [Diss. Sci. (Tech.)], Moscow, 2012, 208 p.
- [9] Ivashkin Yu.A., Nazoykin E.A. *Modelirovanie sistem. Strukturno-parametricheskie i agentno-orientirovannye tekhnologii* [Modeling of systems. Structural-parametric and agent-oriented technologies]. Moscow: MGUPP, 2010, 134 p.
- [10] Blagoveshchenskaya M. M., Blagoveshchenskiy I.G., Nazoykin E.A. *Metodika avtomaticheskoy otsenki kachestva pishchevykh izdeliy na osnove teorii iskusstvennykh neyronnykh setey* [The method of automatic assessment of food quality on the basis of the artificial neural networks theory]. Pishchevaya promyshlennost' [Food Industry], 2015, no. 2, pp. 42–45.
- [11] Donskoy D.A. and oth. *Modelirovanie iskusstvennykh neyronnykh setey v sisteme Matlab. Chast' 3. Radial'nye bazisnye seti* [Simulation of artificial neural networks in Matlab. Part 3. Radial basis networks]. Penza: Penzenskiy gos. un-t [Penza State Univ.], 2005, 63 p.
- [12] Nesterov A.L. *Proektirovanie ASUTP* [The design of control systems] Book 1. St. Petersburg: Dean, 2006, 551 p.
- [13] Savostin S.D. *Avtomatizatsiya kontrolya pokazateley kachestva muki v protsesse razmola s ispol'zovaniem intellektual'nykh tekhnologiy* [Automation of control flour quality indicators in the course of grinding with use of intellectual technologies] Diss. kand. tekhn. nauk [Diss. Sci. [Tech.]. Moscow, MGUPP, 2014.
- [14] Blagoveshchenskaya M.M. *Osnovy stabilizatsii protsessov prigotovleniya mnogokomponentnykh pishchevykh mass* [Fundamentals of the stabilization for preparation processes of multicomponent food masses]. Moscow: Frantera, 2009, 281 p.
- [15] Peshko M.S. *Adaptivnaya sistema upravleniya parametrami mikroklimate protsessov proizvodstva i khraneniya pishchevykh produktov* [Adaptive control system of microclimate parameters of food production and storage processes] Diss. kand. tekhn. nauk [Diss. Sci. (Tech.)], Omsk, 2015.
- [16] Semenov V.G. *Matematicheskaya model' mikroklimate teplitsy* [A mathematical model of the greenhouse microclimate] Izvestiya VolgGTU [Bulletin of the Volgograd State Technical University], 2009, no. 6, pp. 32–35.
- [17] Vasil'ev V.I., Il'yasov B.G. *Intellektual'nye sistemy upravleniya. Teoriya i praktika* [Intelligent control system. Theory and practice]. Moscow: Radiotekhnika [Radio engineering], 2009, 392 p.
- [18] Balykhin M.G., Blagoveshchenskaya M.M., Blagoveshchenskiy I.G., Karelina E.B. Development of train aid on discipline «Quality management» in system of higher education. 5-th International conference on social sciences and arts. SGEM. Ser. «Ancience science», 2018. pp. 197–204.
- [19] Blagoveshchenskaya M.M., Nazoykin E.A., Blagoveshchenskiy I.G., Karelina E.B. *Ispol'zovanie mnozhe-stva algoritmov identifikatsii pri realizatsii adaptivnykh sistem upravleniya* [The use of multiple identification algorithms in the implementation of adaptive control systems]. Zhivye sistemy i biologicheskaya bezopasnost' naseleniya. Sb. materialov XV mezhd. nauchn. konf. studentov i molodykh uchenykh [Living systems and biological safety of the population: Collected papers], Moscow, MGUPP, 2017. Moscow: MGUPP, 2017, pp. 105–108.
- [20] Nazoykin E.A., Blagoveshchenskiy I.G. *Identifikatsiya proizvodstvennykh protsessov s ispol'zovaniem metodov imitatsionno-go modelirovaniya* [Identification of production processes using simulation methods] *Sovremennoe sostoyanie i perspektivy razvitiya upakovki v pishchevoy promyshlennosti* [Current state and prospects of packaging development in the food industry]. Moscow, MGUPP, April 5, 2018. Moscow: MGUPP, pp. 97–102.

## Author's information

**Karelina Ekaterina Borisovna** — Senior lecturer of the Department «Automated control systems of biotechnological processes», Moscow state University of food production, Liza200785@gmail.com

**Kleho Dmitry Yurievich** – Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor of the Department «Information technologies and systems», Russian State University for the Humanities, Klekho62@mail.ru

**Batyrev Yuriy Pavlovich** — Cand. Sci. (Tech.), Associate Professor, of the BMSTU (Mytishchi branch), batyrev@bmstu.ru

Received 11.09.2019.

Accepted for publication 09.12.2019.