

Главный редактор

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

Редакционный совет журнала

**Артамонов Дмитрий Владимирович**, проф., д-р техн. наук, Пензенский ГУ, Пенза  
**Ашраф Дарвиш**, ассоциированный профессор, факультет компьютерных наук, Университет Хелуан, Каир, Египет, Исследовательские лаборатории Machine Intelligence (MIR Labs), США  
**Беляев Михаил Юрьевич**, д-р техн. наук, начальник отдела, зам. руководителя НТЦ РКК «Энергия» им. С.П. Королева, Москва  
**Бемман Альбрехт**, проф., Дрезденский технический университет, Институт профессуры для стран Восточной Европы, Германия  
**Драпалюк Михаил Валентинович**, профессор, д-р техн. наук, проректор по науке и инновациям ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», Воронеж  
**Евдокимов Юрий Михайлович**, профессор, канд. хим. наук, академик Нью-Йоркской академии наук, чл.-корр. РАЕН, член центрального правления Нанотехнологического общества России, Москва  
**Залесов Сергей Вениаминович**, проф., д-р с.-х. наук, УГЛТУ, Екатеринбург  
**Запруднов Вячеслав Ильич**, проф., д-р техн. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Иванкин Андрей Николаевич**, профессор, д-р хим. наук, академик МАНВШ, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Исаев Александр Сергеевич**, академик РАН, Международный институт леса, Москва  
**Карелайнен Тимо**, проф., Университет Восточной Финляндии г. Йозенсу, Лесной НИИ «Метла», Финляндия  
**Кирюхин Дмитрий Павлович**, д-р хим. наук, ИПХФ РАН, Черноголовка  
**Класен Николай Владимирович**, канд. физ.-мат. наук, ИФТТ РАН, Черноголовка  
**Кожухов Николай Иванович**, академик РАН, проф., д-р экон. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Козлов Александр Ильич**, канд. техн. наук, ученый секретарь Совета ОАО «НПО ИТ», Королев  
**Комаров Евгений Геннадиевич**, проф., д-р техн. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Корольков Анатолий Владимирович**, проф., д-р физ.-мат. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Кох Нильс Элерс**, проф., д-р агрономии в области лесной политики, Президент IUFRO, Центр лесного и ландшафтного планирования университета, г. Копенгаген, Дания  
**Кротт Макс**, проф., специализация «Лесная политика», Георг-Аугуст-Университет, Геттинген  
**Леонтьев Александр Иванович**, академик РАН, проф., д-р техн. наук, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Липаткин Владимир Александрович**, проф., канд. биол. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Мартьянюк Александр Александрович**, д-р с.-х. наук, ФБУ ВНИИЛМ, Москва  
**Мелехов Владимир Иванович**, проф., д-р техн. наук, академик РАН, САФУ им. М. В. Ломоносова, Архангельск  
**Моисеев Николай Александрович**, академик РАН, проф., д-р с.-х. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Нимц Петер**, проф. физики древесины, д-р инж. наук, Швейцарская высшая техническая школа Цюриха  
**Обливин Александр Николаевич**, проф., д-р техн. наук, академик РАЕН и МАНВШ, заслуженный деятель науки и техники РФ, Москва  
**Полещук Ольга Митрофановна**, проф., д-р техн. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Родин Сергей Анатольевич**, проф., д-р с.-х. наук, академик РАН, ВНИИЛМ, Москва  
**Рыкунин Станислав Николаевич**, проф., д-р техн. наук, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Стрекалов Александр Федорович**, канд. техн. наук, РКК «Энергия», ЗАО «ЭЭМ», Королев  
**Теодоронский Владимир Сергеевич**, проф., д-р с.-х. наук, академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Титов Анатолий Матвеевич**, канд. техн. наук, зам. начальника отделения, ученый секретарь Совета ЦУП ЦНИИМАШ, Королев  
**Федотов Геннадий Николаевич**, д-р биол. наук, МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва  
**Чубинский Анатолий Николаевич**, проф., д-р техн. наук, СПбГЛТУ, Санкт-Петербург  
**Шадрин Анатолий Александрович**, профессор, д-р техн. наук, академик РАЕН, Мытищинский филиал МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва  
**Шимкович Дмитрий Григорьевич**, проф., д-р техн. наук, ООО «Кудесник», Москва

Ответственный секретарь Расева Елена Александровна

Редактор Л.В. Забродина

Перевод М.О. Жердева

Набор и верстка М.А. Зверев

Электронная версия Н.К. Зверева

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

Дата выхода в свет 10.05.2017.  
Тираж 600 экз.  
Заказ №  
Объем 13,25 п. л.  
Цена свободная

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

Editor-in-chief

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

Editorial council of the journal

**Artamonov Dmitry 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 «Energiya», Moscow  
**Bemman Al'brekht**, professor, the Dresden technical university, professorate Institute for countries of Eastern Europe, Germany  
**Drapalyuk Mikhail Valentinovich**, professor, Dr.Sci.(Tech), Vice-Rector for Science and Innovation Voronezh State Academy of Forestry, Voronezh  
**Evdokimov Yuriy Mikhaylovich**, professor, Ph.D.(Chemical); academician of the New York Academy of Sciences, corr. Academy of Natural Sciences, a member of the Central Board of Nanotechnology Society of Russia, Moscow  
**Zalesov Sergey Veniaminovich**, professor, the Dr.Sci.(Agricultural), USFEU, Ekaterinburg  
**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich**, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Ivankin Andrey Nikolaevich**, professor, Dr.Sci.(Chemical), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Isaev Aleksandr Sergeevich**, academician of the Russian Academy of Sciences, International institute of the wood, Moscow  
**Karjalainen Timo**, professor, university of East Finland Joensuu, forest scientific research institute «Metla», Finland  
**Kiryukhin Dmitriy Pavlovich**, Dr.Sci.(Chemical), IPCP RAS, Chernogolovka  
**Klasen Nikolay Vladimirovich**, Ph.D.(Phys.-Math.), ISSP RAS, Chernogolovka  
**Kozhukhov Nikolay Ivanovich**, professor, academician of the Russian Academy of Sciences, Dr.Sci.(Econ.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Kozlov Aleksandr Il'ich**, Ph.D.(Tech), Scientific Secretary of the Board of «NPO IT», Korolev  
**Komarov Evgeniy Gennadiyevich**, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Korol'kov Anatoliy Vladimirovich**, professor, Dr.Sci.(Phys.-Math.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Kokh Nil's Elers**, professor, the Dr. of agronomics in the field of forest policy, the President of IUFRO, the Center of forest and landscape planning of university Copenhagen, Denmark  
**Krott Maks**, professor of Forest policy 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  
**Martynuk Aleksandr Aleksandrovich**, Dr.Sci.(Agricultural), VNIILM, Moscow  
**Melekhov Vladimir Ivanovich**, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, NARFU, Arkhangel'sk  
**Moiseev Nikolay Aleksandrovich**, professor, Dr.Sci. (Agricultural) academician of the Russian Academy of Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Niemz Peter**, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c., Prof. for Wood Physics, ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich; Eidgenössische Technische Hochschule Zurich)  
**Oblivin Aleksandr Nikolaevich**, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences and MАНVSh, Honored worker of science and equipment of the Russian Federation, BMSTU, Moscow  
**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna**, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Rodin Sergey Anatol'evich**, professor, the Dr.Sci.(Agricultural), ARRISMF, Moscow  
**Rykunin Stanislav Nikolaevich**, professor, Dr.Sci.(Tech.), BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Strekalov Aleksandr Fedorovich**, Ph.D.(Tech.), Rocket and space corporation «ENERGIA», Korolev  
**Teodoronskiy Vladimir Sergeevich**, professor, Dr.Sci.(Agricultural), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Titov Anatoliy Matveevich**, Ph.D.(Tech.), Deputy Chief of Department, Scientific Secretary of the Board of MCC TSNIMASH, Korolev  
**Fedotov Gennadiy Nikolaevich**, Dr.Sci.(Biol.), Lomonosov Moscow State University, Moscow  
**Chubinskiy Anatoliy Nikolaevich**, professor, Dr.Sci.(Tech.), Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg  
**Shadrin Anatoliy Aleksandrovich**, professor, Dr.Sci.(Tech.), academician of the Russian Academy of Natural Sciences, BMSTU (Mytishchi branch), Moscow  
**Shimkovich Dmitriy Grigor'evich**, professor, Dr.Sci.(Tech.), ООО «Kudesnik», Moscow

Assistant Editor Raseva Elena Aleksandrovna

Editor L.V. Zabrodina

Translation by M.O. Zherdeva

PageMaker M.A. Zverev

Electronic version N.K. Zvereva

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 от 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

It is sent for the press 10.05.2017.  
Circulation 600 copies  
Order №  
Volume 13,25 p. p.  
Price free

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

## Содержание

### ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО

<b>Жири́н В.М., Лукина Н.В.</b> Развитие системы инвентаризации лесов в России .....	4
<b>Семенкова Е.В.</b> О методике проведения обследования цветочного оформления различных элементов планировочной структуры города .....	15
<b>Першина А.П., Хруль Т.С., Иванова Е.О.</b> Анализ рисков в ландшафтном дизайне .....	20
<b>Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П.</b> Биологическая активность гумусовых веществ и их влияние на свойства семян .....	26
<b>Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П.</b> Повышение эффективности применения гуминовых препаратов для предпосевной обработки семян .....	37
<b>Санников С.П., Побединский В.В., Бородулин И.В., Побединский А.А.</b> Метод радиочастотного мониторинга лесного фонда .....	45

### ДЕРЕВООБРАБОТКА И ХИМИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

<b>Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б.</b> К вопросу определения цвета различных пород древесины .....	55
<b>Сафин Р.Г., Альмухаметов Р.С., Альджбури А.Х.Х.</b> Установка для получения синтез-газа из древесных отходов .....	61
<b>Сафин Р.Г., Зиатдинова Д.Ф., Арсланова Г.Р.</b> Экстрагирование биологически активных веществ из коры осины .....	65
<b>Тунцев Д.В., Сафин Р.Г., Хайруллина М.Р., Китаев С.В., Хайруллина Э.Р.</b> Утилизация отработанных деревянных шпал .....	70

### ЛЕСОИНЖЕНЕРНОЕ ДЕЛО

<b>Запруднов В.И., Карпачев С.П., Быковский М.А.</b> Потребность парка лесосечных машин в техническом обслуживании .....	76
---	----

### МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

<b>Серебренников П.С., Шмаков А.В., Городецкая Т.А.</b> Оптимизация волоконного Брэгговского отражателя для оптических линий связи .....	80
<b>Рубинштейн А.И., Серебренников П.С., Шипов Н.В., Городецкая Т.А.</b> О наибольшем продвижении при ограниченном ресурсе .....	84
<b>Мышенков В.И., Мышенкова Е.В.</b> Численное исследование обтекания аппарата с работающим двигателем .....	87
<b>Комяков А.Н., Запруднов В.И., Карпачев С.П., Сорокин М.А.</b> О сопротивлении воды движению мягких цилиндрических емкостей с твердым наполнителем .....	95
<b>Полещук О.М., Умаров М.К.</b> Модель нечеткой эталонной формы для подготовки студентов — самбистов средней весовой категории .....	101

## Contents

### FORESTRY

- Zhirin V.M., Lukina N.V.**  
The development of forest inventory system in Russia .....4
- Semenkova E.V.**  
About the methodology of examining the flower arrangement  
of various elements of the city planning structure ..... 15
- Pershina A.P., Khrul T.S., Ivanova E.O.**  
Risk analysis in landscape design ..... 20
- Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P.**  
Biological activity of humic substances and their influence on the seed properties ..... 26
- Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P.**  
Improving the application of humic preparations  
for pre-treatment of seeds ..... 37
- Sannikov S.P., Pobedinsky V.V., Borodulin I.V., Pobedinsky A.A.**  
The method of the timber stock radio-frequency monitoring ..... 45

### WOOD PROCESSING AND CHEMICAL TECHNOLOGY

- Rybin B.M., Zavrazhnova I.A., Rybin D.B.**  
The problem of determining the colour of various wood species ..... 55
- Safin R.G., Almukhametov R.S., Al-Gburi A.H.H.**  
Installation for producing synthesis gas from wood waste ..... 61
- Safin R.G., Ziatdinova D.F., Arslanova G.R.**  
The extraction of biologically active substances from aspen bark ..... 65
- Tuntsev D.V., Safin R.G., Khairullina M.R., Kitaev S.V., Khayrullina E.R.**  
The utilization of the used wooden sleepers ..... 70

### FOREST ENGINEERING

- Zaprudnov V.I., Karpachev S.P., Bykovskiy M.A.**  
The requirement of the logging machines park in maintenance ..... 76

### MATH MODELING

- Serebrennikov P.S., Shmakov A.V., Gorodetskaya N.A.**  
The optimization of fiber Bragg reflector for optical communication lines ..... 80
- Rubinshtein A.I., Serebrennikov P.S., Shipov N.V., Gorodetskaya N.A.**  
The largest distance covered under a limited resource ..... 84
- Myshenkov V.I., Myshenkova E.V.**  
Computational research of flowing around a vehicle with engine-on ..... 87
- Komyakov A.N., Zaprudnov V.I., Karpachev S.P., Sorokin M.A.**  
The resistance of water movement to soft cylindrical  
containers with solid filler ..... 95
- Poleshchuk O.M., Umarov M.K.**  
Fuzzy model of standard form  
for students — wrestlers of middle weight categories ..... 101

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ИНВЕНТАРИЗАЦИИ ЛЕСОВ В РОССИИ

**В.М. Жирин, Н.В. Лукина**

ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов» РАН (ЦЭПЛ РАН),  
117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 84/32

nvl07@yandex.ru

Рассмотрены основные пути совершенствования системы государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) России, которые сформулированы с учетом отечественных традиций лесной инвентаризации, результатов работы по государственному контракту с Минприроды России в 2013–2014 гг. и опыта национальной инвентаризации лесов зарубежных стран. В соответствии с требованиями современного лесного законодательства определены структурные элементы ГИЛ. ГИЛ рассматривается как: система (1) рационального сочетания сплошного контурного дешифрирования (сегментирования) космических изображений земель лесного фонда и земель иных категорий на территории объектов ГИЛ, (2) оперативного учета текущих изменений площади лесов и (3) выборочных детальных наблюдений на наземных пробных площадях и ДЗЗ-пробах (ДЗЗ — дистанционное зондирование Земли), расположенных в узлах регулярной сети мониторинга. Для оценки количественных и качественных характеристик лесов приведен перечень обязательных дистанционных и наземно-дистанционных показателей. Рассмотрены возможности применения результатов ГИЛ для оценки управления природно-территориальными комплексами на примере хвойно-широколиственных лесов в бассейне р. Волги.

**Ключевые слова:** государственная инвентаризация лесов, ГИЛ, объекты ГИЛ, данные ДЗЗ, наземные пробные площадки, ДЗЗ-пробы, показатели ГИЛ

**Ссылка для цитирования:** Жирин В.М., Лукина Н.В. Развитие системы инвентаризации лесов в России // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 4–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-4-14

Основной целью инвентаризации лесов является получение достоверной информации для принятия стратегических решений по управлению лесами в различных странах. Системы национальной инвентаризации лесов (НИЛ) в зарубежных странах имеют общие черты, связанные с многолетней практикой их применения. В Канаде, Швеции и Финляндии осуществляется предварительная стратификация объектов инвентаризации путем разделения территории по эколого-географическому признаку. В большинстве стран выбрана регулярная (систематическая) национальная сеть инвентаризации лесов, а форма ячейки сети — четырехугольная. Размер ячейки сети должен обеспечивать низкую пространственную корреляцию в соседних узлах сети значений основного ресурсного таксационного показателя — как правило, запаса насаждений на одном гектаре площади [1].

Во всех странах в структуру НИЛ входят постоянные и временные пробные площади. Постоянство пробных площадей преследует определенную цель — проведение сравнительных повторных измерений основных таксационных показателей насаждений (прежде всего текущего прироста наличного запаса) при последующих инвентаризациях. Общая численность постоянных и временных пробных площадей и размер сети устанавливаются исходя из принятой точности определения запаса насаждений в каждой стране, достигаемого к концу цикла

проведения НИЛ. Продолжительность цикла проведения НИЛ в разных странах колеблется от 3 до 10 лет, как правило, с одинаковым распределением объемов наземных работ по годам в границах всей страны.

В целях получения информации для принятия стратегических решений по управлению лесами выходные данные НИЛ предоставляются как по стране в целом, так и по отдельным регионам. Это связано с тем, что региональные власти часто являются заказчиками инвентаризации лесов и, кроме того, именно на региональном уровне реализуется лесная политика страны. Итоговая информация состоит обычно из двух крупных взаимосвязанных блоков — геоданных и атрибутивной информации. Их представление реализуется, как правило, в виде статистических (табличных) и картографических данных. Структура информации НИЛ во всех зарубежных странах позволяет компилировать их в отчеты Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО ООН). Отличительной особенностью зарубежных НИЛ являются открытость и доступность результатов, а также гибкость структуры, благодаря которой любой пользователь может получить значительный для своего уровня объем информации через свободный доступ к интернет-ресурсам.

В Российской Федерации (и бывшем СССР) с 1961 по 2003 г. действовала отлаженная система периодического единовременного определения

количественных и качественных характеристик лесного фонда и происходящих в нем изменений. Она осуществлялась по принципу «от частного к общему» путем последовательного суммирования инвентаризационных данных лесного фонда и данных о лесах, не входящих в лесной фонд, по хозяйственно-административным территориальным единицам и в целом по стране. Из ст. 90 Лесного кодекса Российской Федерации 2006 г. следует, что ныне при отсутствии планомерного лесоустройства мероприятия по определению количественных и качественных характеристик лесов включены в перечень задач государственной инвентаризации лесов (ГИЛ) — нового вида лесочетных работ в России. К выполнению этой работы приступили в 2007 г., а технология действующей ГИЛ регулируется положениями «Порядка проведения государственной инвентаризации лесов» [2] и «Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов» [3] с 2011 г.

У многих специалистов-лесоводов, занимавшихся ранее лесоустройством и другими видами обследования лесов, так же как и у лесных экологов, специалистов по дистанционному зондированию Земли из космоса, общественных организаций, сложилось отрицательное отношение к технологии действующей ГИЛ (см., например, сайт [www.lesonline.ru/n/47FAF](http://www.lesonline.ru/n/47FAF)). В «Основах государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 г.» [4], отмечена необходимость дальнейшего развития системы ГИЛ. Усовершенствованная система должна обеспечивать информацией принятие обоснованных управленческих решений на уровне Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, а также выполнение международных обязательств России по глобальной оценке лесных ресурсов, проводимой ФАО ООН.

В данной статье рассмотрены основные направления совершенствования системы ГИЛ [5], которые сформулированы с учетом отечественных традиций лесной инвентаризации и особенностей национальной инвентаризации лесов зарубежных стран.

## Основные направления развития системы ГИЛ

Создание многофункциональной системы инвентаризации предполагает: разработку принципов зонирования территории; выбор долговременной технической основы, схемы сбора детальных наземных и спутниковых данных, продолжительности циклов инвентаризации,

состава определяемых количественных и качественных характеристик лесов и способа их представления для органов управления, общественности и международных организаций. Сложность выбора оптимальной структуры ГИЛ определяется гигантскими масштабами лесных территорий России. Леса России являются рефугиумами биоразнообразия, выполняют различные экосистемные функции, имеют ресурсное и экологическое значение, произрастают в разных лесорастительных зонах, подразделяются по принадлежности и степени освоения. Для учета всех свойств и функций этих сложных систем важной предпосылкой создания работоспособной ГИЛ является сведение воедино информации и геоданных об административно-хозяйственных, экономических и природных границах: субъектов Российской Федерации; земель лесного фонда и земель иных категорий; лесных районов; эксплуатационных (в том числе, труднодоступных), защитных и резервных лесов, а также защитных лесов, расположенных в пустынных, полупустынных, лесостепных и лесотундровых зонах, степях, горах на малопродуктивных землях; городских лесов и др. В ведомстве, которое будет осуществлять мероприятия по проведению ГИЛ, целесообразно иметь специальное подразделение по поддержанию и обновлению официальных геоданных всех границ в соответствии с земельным законодательством, лесным законодательством и законодательством о градостроительной деятельности.

*Объекты ГИЛ.* При разработке в России усовершенствованной системы инвентаризации, альтернативной действующей, к объектам ГИЛ рекомендуется относить леса на землях лесного фонда и землях иных категорий в границах субъектов Российской Федерации, а также леса Российской Федерации [5]. На территории страны выделено восемь лесорастительных зон и 34 лесных района, в которых расположены леса с относительно однородными лесорастительными признаками. С учетом границ субъектов Федерации лесные районы подразделяют на 167 частей. Отличительной особенностью этой схемы является совмещение границ выделенных лесорастительных зон и лесных районов с административными границами субъектов Российской Федерации, а внутри них — с границами муниципальных образований.

В России на территории одного лесного района расположены 32 % субъектов Федерации, на территории двух — 50 %, трех — 10 %, четырех — 6 %, шести — один субъект (Иркутская область) и на территории восьми лесных районов — один субъект Федерации (Красноярский

край). Приведенное распределение субъектов Федерации по лесным районам указывает, с одной стороны, на неодинаковую технологическую сложность проведения работ, с другой стороны — на целесообразность разной продолжительности циклов выполнения работ в объектах ГИЛ. Так, при полной продолжительности цикла, равной 10 годам, в субъектах Федерации, расположенных на территории 1–2 лесных районов, можно сократить цикл до 3–5 лет, на территории 3–4 лесных районов — до 6–8 лет, а в субъектах, расположенных на территории 6–8 лесных районов, работы следует выполнять в течение полного цикла (10 лет).

В субъектах Федерации с укороченным сроком выполнения работ (менее 10 лет) до окончания полного цикла будет продолжаться обновление количественных и качественных характеристик лесов путем ежегодного учета текущих изменений площади земель, покрытых лесной растительностью.

Ускоренное выполнение комплекса наземных работ ГИЛ может быть отчасти обеспечено привлечением студентов и аспирантов образовательных учреждений лесного и экологического профиля во время прохождения натуральных практических занятий или в каникулярный период.

*Зонирование лесов.* Согласно Лесному кодексу Российской Федерации в России выделены леса, подлежащие освоению (защитные и эксплуатационные леса), и резервные леса. Значительная часть осваиваемых эксплуатационных лесов и тех категорий защитных лесов, в которых разрешено использование лесов в виде заготовки леса, относятся к территориям с высоким уровнем использования лесов. Однако немало и труднодоступных эксплуатационных лесов, произрастающих вдали от дорог и населенных пунктов, использование которых временно является экономически нерентабельным. К этой группе можно отнести сильно фрагментированные и экологически уязвимые леса, а также защитные леса, расположенные в пустынных, полупустынных, лесостепных и лесотундровых зонах, степях, горах на малопродуктивных землях, и резервные леса, т. е. произрастающие на территориях, характеризующихся низким уровнем использования лесов.

Соотношение в субъектах Российской Федерации территорий, характеризующихся разным уровнем использования лесов, позволяет оптимизировать схему проведения ГИЛ, корректировать набор определяемых показателей и в конечном счете — устанавливать объем финансовых и трудовых затрат для выполнения ГИЛ.

*Техническая основа ГИЛ.* Обращаясь к отечественным традициям, можно напомнить, что во второй половине XX в. в полном названии организации, ответственной за проведение лесочетных работ в стране (Всесоюзное аэрофотолесоустроительное объединение «Леспроект»), содержалось прямое указание на техническую основу инвентаризации лесов. Применение аэрофотосъемки, аэровизуальных наблюдений, а в последующем и космической съемки способствовало как планомерному обновлению инвентаризационных данных о лесах интенсивной зоны ведения лесного хозяйства, так и систематизации резервных лесов.

Логика современного развития информационных технологий приводит к неизбежному пониманию того факта, что при формировании усовершенствованной системы ГИЛ альтернативы данным дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) как технической основе ГИЛ на десятилетия вперед не просматривается. В связи с этим конъюнктурное мнение и непрофессиональные суждения о якобы «непреодолимых» недостатках дистанционных методов целесообразно переводить в плоскость конкретных технических требований к новым системам сбора ДЗЗ и методам их обработки с целью повышения точности лесного дешифрирования.

Иными словами, ГИЛ можно рассматривать как технически обновляемую систему рационального сочетания сплошного контурного дешифрирования (сегментирования) изображений материалов ДЗЗ, оперативного учета текущих изменений площади лесов и выборочных детальных наблюдений.

Определение количественных и качественных характеристик лесов дистанционными методами будет включать:

— подготовку информации и определение обязательных показателей, предназначенных для обеспечения управления лесами в субъектах Федерации и в Российской Федерации в целом;

— оперативный учет текущих изменений площади земель лесного фонда и земель иных категорий объектов ГИЛ;

— подготовку исходных данных (распределение земель, покрытых лесной растительностью) для организации детальных наблюдений в объектах ГИЛ;

— подготовку информации, предназначенной для передачи в международные организации в соответствии с обязательствами Российской Федерации.

Существуют примеры картографирования лесного покрова на территории России по результатам сегментирования космических изоб-

ражений среднего и высокого разрешения [6]. Путем сегментации ряда спутниковых изображений с высоким пространственным разрешением, полученных в течение многих лет, можно создать сплошную контурную сеть участков лесных и нелесных земель. Современные мультиспектральные ДЗЗ при целенаправленной сегментации изображений позволяют также определять структуру покрытых и не покрытых лесной растительностью земель, площадь и обобщенные запасы стволовой древесины основных преобладающих пород по объектам ГИЛ. По данным ДЗЗ можно ежегодно обновлять важные количественные и качественные характеристики всей площади земель лесного фонда и иных категорий (более 1,17 млрд га), не дожидаясь окончания долговременного цикла работ, особенно при возникновении скоротечных изменений в лесах.

Следует также подчеркнуть возможность получения информации, предназначенной для передачи в международные организации (характеристика сомкнутости полога насаждений, площадь хвойных, лиственных и смешанных лесов и др.), которая отсутствует в отечественной лесной статистике [7].

Заслуживают внимания постоянное появление новых мультиспектральных космических систем и улучшение их технических характеристик, одновременно покрывающих съемкой значительные по площади территории страны, а также совершенствование организации доступа пользователей к данным ДЗЗ.

*Детальные наблюдения в системе ГИЛ.* Детальные наблюдения целесообразно проводить на наземных пробных площадях во всех объектах ГИЛ в течение цикла проведения работ, а также на основе аналитического дешифрирования так называемых фотопроб (термин «фотопроба» широко применялся при проведении в России фотостатистической инвентаризации лесов в последней четверти XX в.) Традиционно к фотопробам относят фрагменты изображения космических снимков детального разрешения, аэроснимков с беспилотных летательных аппаратов и т. п., размещенных, как и наземные пробные площади, в узлах регулярной сети. В настоящее время термин «фотопроба» следует заменить, например, на термин «ДЗЗ-проба» в связи с бурно развивающимися возможностями использования спутниковой информации,

На наземных пробных площадях определяют: породный состав; возраст, диаметр, высоту стволов; запас стволовой древесины; текущий прирост наличного запаса лесообразующих пород; состояние деревьев, подлеска и подроста, напочвенного растительного покрова; пов-

реждение деревьев и кустарников болезнями, вредителями леса, пожарами и другими негативными воздействиями; запас фитомассы и мортмассы; генетическое, видовое и экосистемное биоразнообразие; характеристики почв и запасы углерода. Комплекс пробных площадей обычно включает круговые площадки постоянного радиуса (500 м<sup>2</sup>), предназначенные для подеревной таксации лесных насаждений, и четыре площадки размером по 100 м<sup>2</sup> каждая для оценки показателей биоразнообразия. Образцы почв отбирают за пределами пробных площадей, но в сходных с ними условиях.

При дешифровочной таксации ДЗЗ-проб состав количественных и качественных характеристик лесов включает породный состав, средний диаметр стволов и высоту деревьев, запас стволовой древесины, полноту (сомкнутость древесного полога), а также пространственное распределение лесных и нелесных земель в границах ДЗЗ-проб. Используя опыт Канады, можно рекомендовать ДЗЗ-пробы размером 2 × 2 км, центры которых совмещены с узлами регулярной сети. Дешифровочную таксацию ДЗЗ-проб и их выборочную полевую проверку следует проводить в соответствии с требованиями и нормативами действующей в момент проведения ГИЛ лесоустроительной инструкции.

*Комплексирование источников информации системы ГИЛ.* Гармонизация источников информации системы ГИЛ направлена на достижение нормативной точности определения запаса древесины — ведущей, как и в зарубежных НИЛ, количественной характеристики лесов, являющейся интегральным показателем. Очевидно, что в лесах с разным уровнем использования определение запаса древесины может проводиться с неодинаковой точностью. Исходя из величины нормативной точности (уровня ошибок) и изменчивости (дисперсии) запаса в насаждениях лесных районов в границах объектов ГИЛ можно определить оптимальное количество наземных пробных площадей и ДЗЗ-проб. При оценке запасов стволовой древесины в объектах ГИЛ на территориях с высоким уровнем использования лесов допустим уровень ошибки ±3...5 %, а на территориях с низким уровнем использования лесов (в том числе, в резервных лесах) — ±6...8 %. Этого можно достигнуть путем применения различных схем комплексирования данных детальных наземных наблюдений и данных ДЗЗ.

На территории лесного фонда и иных категорий с высоким уровнем использования лесов предполагается проводить работы по закладке пробных площадей на основе двухступенчатой выборки: на первой ступени проводится выде-

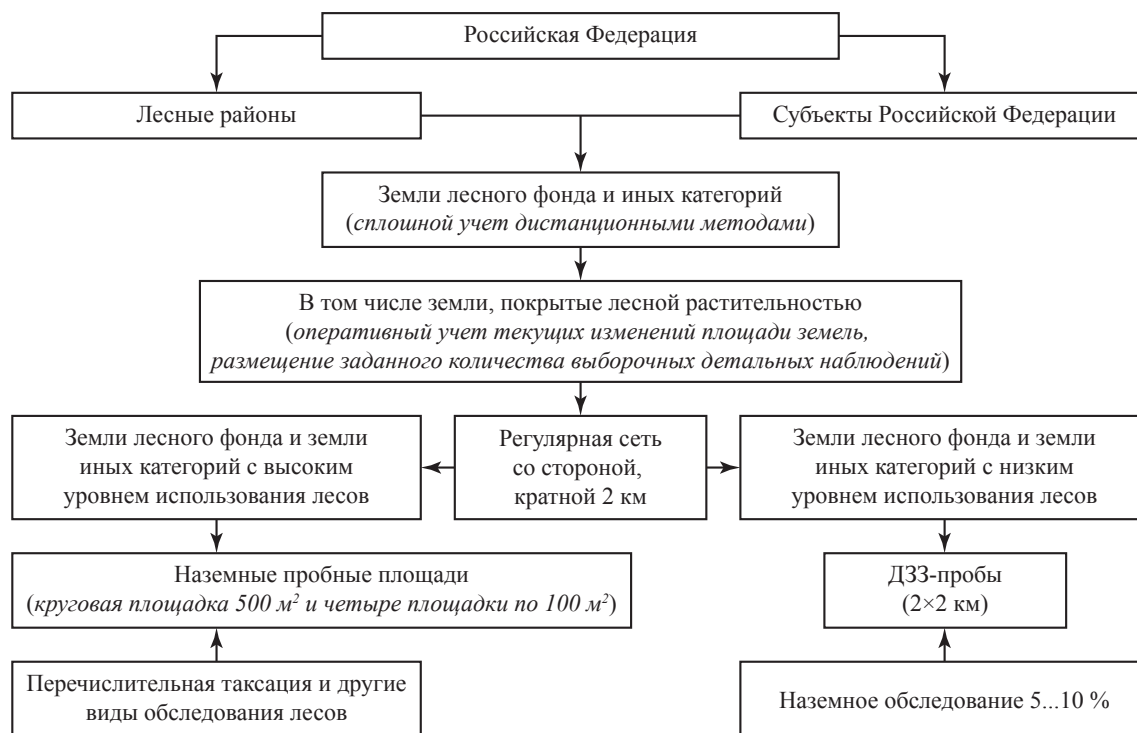


Схема организации государственной инвентаризации лесов России  
The scheme of organization of state forest inventory in Russia

ление по данным ДЗЗ покрытых лесной растительностью земель, а на второй — закладка пробных площадей в установленных узлах регулярной сети. В остальных лесах предлагается проводить инвентаризацию на основе трехступенчатой выборки: после выделения покрытых лесной растительностью земель, следуя принципу систематической выборки, в отобранных узлах регулярной сети размещаются ДЗЗ-пробы и в качестве третьей ступени предусматривается проведение наземных измерений. Эти измерения включают натурные работы на ДЗЗ-пробах (5...10 % от общего числа ДЗЗ-проб) с целью установления зависимости между наземной и спутниковой информацией о лесах, оценки точности дешифрирования и исключения систематических ошибок, отбор которых следует осуществлять путем случайной выборки. Указанная схема применялась в России с 1978 по 2002 г. при проведении фотостатистической инвентаризации лесов [8].

Детальные наблюдения на пробных площадях и на участках контрольной выборки ДЗЗ-проб должны проводиться ежегодно, в ограниченный период — в течение II и III кварталов. Дешифровочная таксация ДЗЗ-проб может осуществляться в течение всего календарного года.

*Регулярная сеть системы ГИЛ.* С учетом опыта Канады имитацией генеральной сово-

купности может служить виртуальная сеть, покрывающая всю страну с шагом  $4 \times 4$  км, которая может быть расширением существующей в 500-километровой полосе сети ( $32 \times 32$  км), расположенной вдоль западных границ России (проект ICP-Forests) [9, 10]. Опираясь на виртуальную сеть, в каждом субъекте Федерации при необходимости принимают регулярную сеть с другим расстоянием между узлами, образующую квадратные ячейки, длина которых кратна 2 км. Общая численность узлов сети в субъектах Российской Федерации будет определяться площадью земель, покрытой лесной растительностью, установленной по ДЗЗ, с учетом нормативной точности определения общего запаса стволовой древесины на территориях с разным уровнем использования лесов. Повышенная при необходимости точность оценки запаса древесины в объектах ГИЛ достигается за счет сокращения расстояния между узлами регулярной сети или путем размещения дополнительных пробных площадей в виде кластеров.

Корректирование схемы размещения детальных обследований и их объема в течение цикла проведения работ необходимо предусмотреть при изменении в объектах ГИЛ целевого назначения лесов или их труднодоступности, нормативных требований к точности определения общего запаса древесины, а также при изменении площади, покрытой лесной растительностью,



выявляемой при оперативном учете текущих изменений.

Аналогично зарубежным технологиям НИЛ нормативный уровень точности определения общего запаса древесины в объектах ГИЛ достигается ко времени завершения полного цикла работ как в субъектах Федерации, так и в целом по стране.

Общая схема ГИЛ показана на рисунке.

*Количественные и качественные характеристики лесов.* Многофункциональная система ГИЛ ориентирована на использование дистанционной информации о лесах, которая охватывает территорию всей страны, а также наземной информации, собираемой на пробных площадях, заложенных в зоне с высоким уровнем использования лесов, или получаемой при дешифрировании ДЗЗ-проб и выборочной перечислительной таксации типичных насаждений в зоне с низким уровнем использования лесов. Разноплановый сбор информации приводит к получению неоднородных количественных и качественных характеристик лесов, определяемых разным набором показателей. Количество определяемых показателей, например, на наземных пробных площадях может превышать 150 [11].

В канадской практике НИЛ используется термин «обязательные» показатели, число которых превышает 20. В системе ГИЛ предлагается подразделять обязательные показатели на дистанционные и наземно-дистанционные [5].

В первую группу обязательных показателей, оперативно (ежегодно или с заданной периодичностью) определяемых при сплошном учете дистанционными методами в объектах ГИЛ, входят:

- общая площадь лесов на землях лесного фонда и иных категорий;
- лесистость территории;
- площадь различных видов лесных и нелесных земель;
- площадь фонда лесовосстановления;
- распределение площади хвойных, лиственных и смешанных лесов по группам сомкнутости полога в соответствии с критериями ФАО ООН;
- распределение площади лесов по преобладающим породам и группам возраста;
- запасы стволовой древесины в хвойных, лиственных и смешанных лесах;
- распределение запасов стволовой древесины по преобладающим породам и группам возраста лесов;
- площадь лесов, доступная для лесозаготовок;
- площадь сплошных рубок;

- площадь погибших лесов;
- степень фрагментации лесного покрова (%).

Группу обязательных наземно-дистанционных показателей, определяемых при проведении детальных наблюдений в узлах регулярной сети в объектах ГИЛ, образуют:

- распределение запасов стволовой древесины основных лесообразующих пород по классам возраста;
- распределение запасов стволовой древесины основных лесообразующих пород по категориям состояния деревьев;
- распределение запасов стволовой древесины основных лесообразующих пород по категориям технической годности деревьев;
- текущий прирост наличного запаса основных лесообразующих пород;
- характеристика лесовозобновления (естественное, искусственное);
- характеристика подлеска;
- характеристика жизненного состояния древостоя, включая категорию состояния, степень преждевременной потери листвы/хвои (дефолиация) и изменения окраски (дехромация) крон деревьев, не связанной с их фенологическим развитием;
- причины повреждения древостоев (биотические, абиотические, антропогенные);
- запасы недревесных ресурсов (пищевые ресурсы и лекарственные растения);
- характеристика биоразнообразия, включая перечень местных, инвазивных и охраняемых видов растений, соотношение моно-, олиго- и полидоминантных древостоев, типы леса, запас сухостоя и валежа (древесная мортмасса);
- диагностика почв согласно Единому государственному реестру почвенных ресурсов России (<http://egrpr.esoil.ru/>), а также элементов питания и загрязняющих веществ в почвах;
- общий запас фитомассы лесов, запас углерода.

По результатам определения характеристик лесов ежегодно формируются статистические и картографические материалы, характеризующие леса Российской Федерации на уровне всей страны в целом и отдельных субъектов Федерации.

Определение дистанционных показателей проводится преимущественно на основе использования автоматизированных методов сегментации и локально-адаптивной классификации спутниковых изображений с выделением лесов, различающихся своей породной структурой (хвойные, хвойно-лиственные, лиственно-хвойные и лиственные) и продуктивностью (группы запаса стволовой древесины) [12].

Помимо информативных возможностей данных ДЗЗ, повышение достоверности классификации лесов в интересах ГИЛ во многом будет зависеть от полноты и многообразия опорных наземных данных, в том числе полученных при доброкачественной перечислительной таксации насаждений прошлого лесоустройства (до 2006 г.), совмещенных с доступными архивными космическими снимками (типа Landsat) давностью свыше 10 лет.

Успешность оценки дистанционных показателей зависит также от применяемых нормативов при классификации земель лесного фонда и земель иных категорий. Так, при определении площади лесов с учетом требований ФАО с целью оценки нижнего предела сомкнутости полога древесно-кустарниковой растительности, равной 5...10 %, потребуется замкнуть контуры естественных редин в притундровых лесах и экстремальных лесорастительных условиях высокогорий и пустынь. Регулярное размещение ДЗЗ-проб (данные ДЗЗ детального разрешения) и применение методов геостатистики позволит адекватно строить контуры границ, соответствующие структуре данных о сомкнутости лесного полога, и проводить мониторинг воспроизводства лесов, исследуя изменения образованных статистических поверхностей.

При сегментации космических изображений таежных лесов возможно непреднамеренное занижение площади насаждений хвойного хозяйства, выделение которого предусматривается при минимальном участии хвойных пород в составе насаждений, равном 40 % и более. В местах проведения интенсивных лесозаготовок второй половины XX в. на площади около 50 млн га и при восстановлении нарушенных лесов в ходе смены пород под листовым пологом накапливаются хвойные породы (в основном ель), присутствие которых на космических изображениях верхнего полога древостоев практически незаметно [13]. Использование космических снимков, полученных в безлиственный период года и обладающих более контрастным изображением хвойных пород, особенно в тех случаях, когда их участие в составе насаждений не является преобладающим в верхнем пологе, повысит достоверность оценки площади хвойного хозяйства.

Оперативная оценка последствий лесных пожаров при дистанционном учете текущих изменений может привести к искажению площади погибших насаждений (гарей) при огневом воздействии на лес низовых пожаров невысокой интенсивности, после которых через 1–2 вегетационных периода потребуется повторная

классификация этих участков и уточнение площади поврежденных насаждений.

Приведенные примеры указывают на необходимость кооперации специалистов и организаций различного профиля для решения проблемных вопросов при определении дистанционных показателей ГИЛ.

### **Возможность использования материалов ГИЛ для оценки соответствия практики управления территориями целям природоохранной политики**

Одним из обязательных важнейших показателей ГИЛ является лесистость, которая характеризует степень облесенности территории, определяемой отношением площади покрытых лесной растительностью земель к ее общей площади, выраженной в процентах [14]. В статистических документах по учету лесов обычно указывается показатель лесистости применительно ко всей территории субъектов Федерации.

Возможность оценки лесистости по данным ДЗЗ подтверждена путем проведения эксперимента в лаборатории мониторинга лесных экосистем ЦЭПЛ РАН под руководством Д.В. Ершова [5]. В ходе эксперимента была использована глобальная карта лесного покрова и его изменений за период с 2000 по 2012 г., созданная на основе космических снимков Landsat 7 ETM+ с пространственным разрешением 30 м группой ученых из университета Мэриленд (США) [15]. Общая площадь покрытых лесной растительностью земель России, установленная на основании американской карты лесного покрова, оказалась равной 737,6 млн га. По данным Рослесхоза, аналогичная площадь в 2011 г. была на 7,5 % больше и составляла 797,1 млн га.

После наложения на карту границ объектов ГИЛ и лесных районов была подсчитана лесистость как частей лесных районов, так и всей территории субъектов Федерации. Известно, что уровень лесистости территорий определяется прежде всего климатическими условиями, которые изменяются в лесорастительных зонах и лесных районах в широтном и долготном направлениях. Полученные в результате эксперимента данные о распределении лесистости по лесным районам и субъектам Федерации позволяют отметить некоторые особенности облесения территории лесных районов и субъектов Федерации.

Выше указывалось, что в России только 32 % субъектов Федерации располагаются на терри-

Т а б л и ц а 1

**Лесистость лесных районов европейской части России и бассейна р. Волги, %**  
**Forest cover percent of forest areas of the European part of Russia and the basin of the Volga river**

Лесной район	В европейской части России			В бассейне р. Волги		
	Наибольшая	Наименьшая	Средняя	Наибольшая	Наименьшая	Средняя
Среднетаежный	87,8	70,8	81,0	87,8	77,1	83,9
Южнотаежный	79,8	60,8	73,2	79,8	60,8	73,5
Хвойно-широколиственных лесов	74,7	23,0	52,6	68,5	23,0	51,9
Лесостепной	42,0	10,4	19,9	27,9	11,4	22,2
Степной	27,8	0,3	5,3	13,9	0,3	4,7

Т а б л и ц а 2

**Тенденции изменения лесистости соседних лесных районов в границах субъектов Российской Федерации**  
**Some trends in the variation of the forest cover of the neighbouring forest areas within the boundaries of the territorial entities of the Russian Federation**

Субъекты Федерации	Лесистость территории лесных районов, %			
	среднетаежного	южнотаежного	хвойно-широколиственного	лесостепного
Вологодская обл.	77,1	74,2	–	–
Ленинградская обл.	70,8	69,3	–	–
Кировская обл.	87,1	75,4	48,5	–
Республика Башкортостан	–	–	31,0	25,7
Ульяновская обл.	–	–	32,2	31,0
Республика Татарстан	–	–	23,0	20,1

тории одного единственного лесного района с однородными климатическими условиями. Значения среднего уровня лесистости других субъектов Федерации соответствуют известному сравнению со «средней температурой по больнице». Так, при средней лесистости Красноярского края, равной 46,6 %, в границах этого субъекта Российской Федерации встречаются территории лесных районов с лесистостью от 4,6 до 90,8 %. Таким образом, возможность оценки в процессе ГИЛ лесистости территорий лесных районов в составе субъектов Федерации позволяет проводить более обстоятельный лесоводственный анализ состояния лесного покрова.

Существует тесная связь между лесистостью и способностью природно-территориальных комплексов выполнять те или иные экосистемные функции (обеспечивать экосистемные услуги) — например, водоохранные и водорегулирующие [16, 17]. В табл. 1 приведены средние, наибольшие и наименьшие значения лесистости лесных районов в Европейской части России и отдельно — в бассейне р. Волги, вычисленные по спутниковым данным.

Из табл. 1 видно, что уровень лесистости в среднетаежном (8 субъектов РФ) и южнотаежном (10 субъектов РФ) лесных районах евро-

пейской части России соотносится с аналогичными районами волжского бассейна, благодаря чему пока сохраняется объем основного стока речных систем бассейна в Волгу.

В хвойно-широколиственном, лесостепном и степном лесных районах наибольшая лесистость волжского бассейна существенно ниже по сравнению с европейской частью России. Неравномерная лесистость территории часто является следствием концентрации промышленного производства в хвойно-широколиственном лесном районе и незавершенности систем защитных лесных насаждений в лесостепном и степном лесных районах европейской части страны (табл. 2).

В Вологодской и Ленинградской областях заметна тенденция к выравниванию степени облесенности соседних среднетаежного и южнотаежного лесных районов. При среднем значении лесистости хвойно-широколиственного лесного района в европейской части России, равном 52,6 %, в Кировской области отмечается фрагментация лесов (48,5 %). В Башкортостане и Татарстане, а также в Ульяновской области процесс фрагментации настолько интенсивен, что лесистость хвойно-широколиственного района снизилась, по сути, до уровня лесостепного лесного района. Следует иметь в

виду, что протяженность Волги на территории Татарстана и Ульяновской области составляет 350 км и снижение степени облесенности этих субъектов Федерации иллюстрирует замедление воспроизводства природной среды вследствие роста антропогенной нагрузки на хвойно-широколиственные леса в бассейне Волги.

Краткий лесоводственный анализ степени облесенности лесных районов европейской части России показывает, что количественные и качественные характеристики при проведении ГИЛ на основании данных ДЗЗ будут способствовать формированию системы индикаторов оценки природоохранной деятельности на федеральном и региональном уровнях.

## Заключение

В статье рассмотрены основные направления совершенствования системы ГИЛ России с целью замены современной системы, действующей с 2007 г. Предложения сформулированы с учетом отечественных традиций лесной инвентаризации, опыта применения дистанционных методов, а также опыта национальной инвентаризации лесов зарубежных стран. К объектам ГИЛ рекомендуется относить леса на землях лесного фонда и землях иных категорий в границах субъектов Российской Федерации, а также леса Российской Федерации. Внутри субъектов Федерации следует выделять лесные районы и леса, подлежащие освоению (защитные и эксплуатационные леса), а также резервные леса и леса на малопродуктивных землях, характеризующиеся низким уровнем использования. ГИЛ рассматривается как технически обновляемая система рационального сочетания сплошного контурного дешифрирования (сегментирования) изображений материалов ДЗЗ, оперативного учета текущих изменений площади лесов и выборочных детальных наблюдений в виде наземных пробных площадей и ДЗЗ-проб. При регулярной схеме наблюдения пробные площади должны размещаться в лесах, подлежащих освоению, а ДЗЗ-пробы — в лесах, характеризующихся низким уровнем использования. Объем детальных наблюдений зависит от величины нормативной точности и изменчивости запаса в насаждениях лесных районов в границах объектов ГИЛ; установленную численность наземных пробных площадей и ДЗЗ-проб следует равномерно распределять в объектах ГИЛ ежегодно в течение цикла проведения работ. Продолжительность цикла работ зависит от числа лесных районов, на территории которых находится тот или иной субъект Российской Федерации.

Предложен перечень обязательных показателей, подразделяемых на дистанционные,

определяемые ежегодно или с заданной периодичностью, и наземно-дистанционные, определяемые при проведении детальных наблюдений в течение установленной продолжительности цикла работ.

Важным условием функционирования усовершенствованной технологии ГИЛ должно быть создание эффективной системы коммуникации отраслевых, академических и образовательных организаций, осуществляющих как исследования информативных возможностей новых систем сбора наземных и спутниковых данных, так и развитие методов их обработки.

Работа проводилась при финансовой поддержке: Программы Президиума РАН «Биоразнообразии природных систем», проект «Лесообразующие виды России: пространственное распределение, запасы, вклад в экосистемные функции и услуги» (0110-2015-0005); Государственного задания ЦЭПЛ РАН «Сохранение и восстановление экологических функций лесных почв» (0110-2014-0004).

## Список литературы

- [1] Алексеев А.С. Теоретические основы государственной (национальной) инвентаризации лесов // Лесное хозяйство, 2009. № 4. С. 31–33.
- [2] Порядок проведения государственной инвентаризации лесов. URL: <https://rg.ru/2011/08/10/leshoz-dok.html/>
- [3] Методические рекомендации по проведению государственной инвентаризации лесов. URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_127414/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_127414/)
- [4] Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 г. Утверждены Распоряжением Правительства РФ от 26.09.2013 г. № 1721-п URL: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=131500>
- [5] Отчет по государственному контракту с Минприроды России «Разработать научно-методическое обеспечение совершенствования государственной инвентаризации лесов России» (регистрационный номер результата НИОКР – 11618915-13-M2-01-2). М.: Министерство Природных Ресурсов и Экологии Российской Федерации, 2014. 256 с.
- [6] Спутниковое картографирование растительного покрова России по данным спектрорадиометра MODIS / С.А. Барталев, В.А. Егоров, Д.В. Ершов, А.С. Исаев, Е.А. Лупян, Д.Е. Плотноков, И.А. Уваров // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса, 2011. С. 285–302.
- [7] Филипчук А.Н., Нежлукто М.А. Анализ национальной отчетности ведущих зарубежных стран по международному переговорному процессу по лесам // Лесохозяйственная информация, 2011. № 1. С. 3–19.
- [8] Сухих В.И. Аэрокосмические методы в лесном хозяйстве и ландшафтном строительстве: учебник. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. 392 с.
- [9] Методика мониторинга лесов по международной программе ICP Forests. М.: ЦЭПЛ РАН; Российский центр защиты леса, 2008. 46 с.

- [10] Assessment of sustainable forest management criteria using indicators of the International Programme ICP Forests / N.V. Lukina, M.A. Orlova, A.V. Gornov, A.M. Kryshen', P.V. Kuznetsov, S.V. Knyazeva, O.N. Bakhmet, S.P. Eydlina, V.V. Ershov, N.V. Zukert, L.G. Isaeva // *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, v. 6, no. 7, pp. 734–745.
- [11] Креснов В.Г. Государственная инвентаризация лесов как основа оценки их состояния и планирования использования // *Проблемы лесоустройства и государственной инвентаризации лесов: матер. I Междунар. конф.* М.: Рослесинфорг, 2009. С. 30–34.
- [12] Барталев С.А., Ершов Д.В., Исаев А.С., Лупян Е.А. Основные задачи и перспективы создания системы глобального спутникового мониторинга лесов // *Лесоведение*, 2011. № 6. С. 3–15.
- [13] Жирин В.М., Князева С.В., Эйдлина С.П. Особенности восстановления нарушенного лесного покрова в таежных лесах Русской равнины. Разнообразие и динамика лесных экосистем России. Кн.1. М.: ЦЭПЛ РАН Товарищество научных изданий КМК, 2012. С. 287–315.
- [14] ГОСТ 17.5.3.01–78 Охрана природы. Земли. Состав и размер зеленых зон городов. URL: <http://vsegost.com/Catalog/40/40372.shtml>.
- [15] High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change / M.C. Hansen, P.V. Potapov, R. Moore, M. Hancher, S.A. Turubanova, A. Tyukavina, D. Thau, S.V. Stehman, S.J. Goetz, T.R. Loveland, A. Kommareddy, A. Egorov, L. Chini, C.O. Justice, J.R.G. Townshend // *Science*, 2013, v. 342, pp. 850–853. DOI: 10.1126/science.1244693
- [16] Молчанов А.А. Научные основы ведения хозяйства в дубравах лесостепи. М.: Наука, 1964. 225 с.
- [17] Ерусалимский В.И. О лесистости // *Лесное хозяйство*, 2009. № 5. С. 13–15.

## Сведения об авторах

**Жирин Василий Михайлович** — д-р с.-х. наук, главный научный сотрудник ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов» РАН, e-mail: [nvl07@yandex.ru](mailto:nvl07@yandex.ru)

**Лукина Наталья Васильевна** — д-р биол. наук, профессор, директор ФГБУН «Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов» РАН, e-mail: [nvl07@yandex.ru](mailto:nvl07@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 25.07.2016 г.

## THE DEVELOPMENT OF FOREST INVENTORY SYSTEM IN RUSSIA

V.M. Zhirin, N.V. Lukina

Centre for Forest Ecology and Productivity RAS, 117997, Moscow, Profsoyuznaya st., 84/32.

[nvl07@yandex.ru](mailto:nvl07@yandex.ru)

The paper discusses the main ways of improving the system of State Forest Inventory (SFI) in Russia, which have been defined taking into account certain national traditions, the results of the work done under the state contract with the Russian Ministry of Natural Resources in 2013-2014 and some features of the National Forest Inventory in foreign countries. According to the Forest Law the main SFI structural elements have been determined. SFI is regarded as (1) a system of rational combination of continuous contour decoding (segmentation) of satellite images of forest lands and lands of other categories within the SFI territories, (2) the up-to-date records of current changes in forest area and (3) the detailed observations on plots located within a regular grid for ground-based monitoring and the ERS samples. To assess the quantitative and qualitative characteristics of forests, a list of obligatory «remote» and «ground-remote» indicators has been suggested. The possibilities of the SFI result application in evaluating the natural territorial complex management efficiency have been demonstrated on the example of mixed coniferous-deciduous forests in the basin of the Volga river.

**Keywords:** State Forest Inventory (SFI), SFI territory, sensing monitoring data, ground sample plots, remote sensing monitoring, ERS (Earth remote sensing), SFI indicators

**Suggested citation:** Zhirin V.M., Lukina N.V. *Razvitie sistemy inventarizatsii lesov v Rossii* [The development of forest inventory system in Russia]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 4–14. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-4-14

## References

- [1] Alekseev A.S. *Teoreticheskie osnovy gosudarstvennoy (natsional'noy) inventarizatsii lesov* [Theoretical foundations of the State (national) Forest Inventory] *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry Journal], 2009, no. 4, pp. 31–33 (in Russian)
- [2] *Poryadok provedeniya gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [The procedure for accomplishing the state forest inventory]. Available at: <https://rg.ru/2011/08/10/leshoz-dok.html/> (in Russian)
- [3] *Metodicheskie rekomendatsii po provedeniyu gosudarstvennoy inventarizatsii lesov* [Methodical recommendations on accomplishing the state forest inventory]. Available at: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_127414/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_127414/) (in Russian)

- [4] *Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ispol'zovaniya, okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov v Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 g. Uverzhdeny rasporyazheniem Pravitel'stva RF № 1721-r ot 26.09.2013 g.* [The fundamentals of the state policy in the sphere of use, conservation, protection and reproduction of forests in the Russian Federation for the period until 2030. Approved by the order of the Government of the Russian Federation no. 1721-r of 26 September 2013]. Available at: <http://www.mnr.gov.ru/regulatory/detail.php?ID=131500>. (in Russian)
- [5] *Otchet po gosudarstvennomu kontraktu s Minprirody Rossii «Razrabotat' nauchno-metodicheskoe obespechenie sovershenstvovaniya gosudarstvennoy inventarizatsii lesov Rossii»* [The report on the state contract with the Ministry of Russia «Development of scientific and methodological support of the Rosstate forest inventory improvement »]. Moscow, 2014, 256 p. (in Russian).
- [6] Bartalev S.A., Egorov V.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Lupyay E.A., Plotnikov D.E., Uvarov I.A. *Sputnikovoe kartografirovaniye rastitel'nogo pokrova Rossii po dannym spektrometriya MODIS* [Satellite mapping of vegetation cover according to Russian spectroradiometer MODIS] *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Current problems in the Earth remote sensing from space], 2011, pp. 285-302. (in Russian)
- [7] Filipchuk A.N., Nezhluko M.A. *Analiz natsional'noy otchetnosti vedushchikh zarubezhnykh stran po mezhdunarodnomu peregovornomu protsessu po lesam* [The analysis of national reporting on the top abroad countries' participation in international negotiations on forests] *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2011, no. 1, pp. 3-19. (in Russian)
- [8] Sukhikh V.I. *Aerokosmicheskie metody v lesnom khozyaystve i landshaftnom stroitel'stve* [Aerospace methods in forestry and landscape construction]. Yoshkar-Ola, MarGTU Publ., 2005, 392 p. (in Russian)
- [9] *Metodika monitoringa lesov po mezhdunarodnoy programme ICP Forests* [Forest Monitoring Methodology for the international program ICP Forests] *Tsentr po problemam ekologii produktivnosti lesov RAN i FGU» Rossiyskiy tsentr zashchity lesa»* [The Centre of Forests Ecology and Productivity of RAS and «Russian forest protection center»]. Moscow, 2008, 46 p. (in Russian)
- [10] Lukina N.V., Orlova M.A., Gornov A.V., Kryshen' A.M., Kuznetsov P.V., Knyazeva S.V., Bakhmet O.N., Eydlina S.P., Ershov V.V., Zukert N.V., Isaeva L.G. Assessment of sustainable forest management criteria using indicators of the International Programme ICP Forests, *Contemporary problems of ecology*, 2013, v. 6, no. 7, pp. 734-745.
- [11] Kresnov V.G. *Gosudarstvennaya inventarizatsiya lesov kak osnova otsenki ikh sostoyaniya i planirovaniya ispol'zovaniya* [The state forest inventory as a basis for evaluating their condition and use planning] *Problemy lesoustroystva i gosudarstvennoy inventarizatsii lesov: Materialy I Mezhdunarodnoy konferentsii* [Forest management issues and station Inventory forests: Proceedings of the I International Conference]. Moscow, FGUP Roslesinforg Publ., 2009, pp. 30-34. (in Russian)
- [12] Bartalev S.A., Ershov D.V., Isaev A.S., Lupyay E.A. *Osnovnye zadachi i perspektivy sozdaniya sistemy global'nogo sputnikovogo monitoringa lesov* [The problems and prospects of creating a global system of satellite monitoring of forests] *Lesovedenie* [Contemporary problems of ecology], 2011, no. 6, pp. 3-15. (in Russian)
- [13] Zhirin V.M., Knyazeva S.V., Eydlina S.P. *Osobennosti vosstanovleniya narushennogo lesnogo pokrova v taizhnykh lesakh Russkoy ravniny. Raznoobrazie i dinamika lesnykh ekosistem Rossii* [Eidlin Features restoration of disturbed forest cover in the taiga forests of the Russian Plain. The diversity and dynamics of forest ECOS-tems Russia]. T. 1. Moscow: TsEPL RAN. *Tovarishchestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ.*, 2012, pp. 287-315. (in Russian)
- [14] GOST 17.5.3.01-78. Available at: <http://vsegost.com/Catalog/40/40372.shtml> (in Russian)
- [15] Hansen M.C., Potapov P.V., Moore R., Hancher M., Turubanova S.A., Tyukavina A., Thau D., Stehman S.V., Goetz S.J., Loveland T.R., Kommareddy A., Egorov A., Chini L., Justice C.O., Townshend J.R.G. High-Resolution Global Maps of 21st-Century Forest Cover Change, *Science*, 2013, v. 342, pp. 850-853. DOI: 10.1126/science.1244693
- [16] Molchanov A.A. *Nauchnye osnovy vedeniya khozyaystva v dubravakh lesostepi* [Scientific bases of housekeeping in oak forest-steppe]. Moscow, 1964, 225 p. (in Russian)
- [17] Erusalimskiy V.I. *O lesistosti* [About forest-steppe] *Lesnoe khozyaystvo* [Forestry Journal], no. 5, 2009, pp. 13-15. (in Russian)

## Author's information

**Zhirin Vasily Mikhailovich** — Dr. Sci. (Agricultural), senior researcher, Centre for Forest Ecology and Productivity RAS, e-mail: [nv107@yandex.ru](mailto:nv107@yandex.ru)

**Natalia Vasil'evna Lukina** — Dr. Sci. (Biol.), Professor, Director Centre for Forest Ecology and Productivity RAS, e-mail: [nv107@yandex.ru](mailto:nv107@yandex.ru)

Received 25.07.2016

УДК 712.42

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-15-19

## О МЕТОДИКЕ ПРОВЕДЕНИЯ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЦВЕТОЧНОГО ОФОРМЛЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПЛАНИРОВОЧНОЙ СТРУКТУРЫ ГОРОДА

**Е.В. Семенкова**

Комитет по архитектуре и градостроительству города Москвы (Москомархитектура),  
125047, Москва, Триумфальная пл., д. 1

enica@mail.ru

Предлагаемая методика может быть использована для исследований качества цветочного оформления города. В данной методике цветочное оформление рассматривается как неотъемлемая часть пространственной композиции элемента планировочной структуры, деталь к единому целому. Основной задачей методики является установление понятий для оценки и обоснованности размещения элементов цветочного оформления, определения оптимальной последовательности выполнения работ по обследованию объектов и разработки научно обоснованных рекомендаций по созданию и/или реконструкции существующих цветников в различных условиях городской среды. Приводятся схема исследований по выявлению предпочтительных линейных характеристик объектов цветочного оформления для типологических ситуаций (пространственных характеристик) элементов планировочной структуры (в том числе ширины улиц, высоты застройки), распространённых в конкретной климатической зоне.

**Ключевые слова:** методика проведения обследования цветочного оформления планировочных элементов, оценка композиционной роли объекта цветочного оформления, роль цветочного оформления в композиции, доминанта, акцент, фон

**Ссылка для цитирования:** Семенкова Е.В. О методике проведения обследования цветочного оформления различных элементов планировочной структуры города // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 15–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-15-19

Функциональную (композиционную) роль цветочного оформления на городских объектах оценивают следующим образом: оформление является центром композиции; закрепляет и обогащает композицию; нейтрально по отношению композиции, не выполняет роли акцента; диссонирует, разрушает композицию. Исследования, проведенные по предлагаемой методике, дадут возможность принимать решения о реконструкции объектов цветочного оформления, вырабатывать предложения по оптимизации затрат на цветочное оформление города.

### Общие положения

В рамках предлагаемой методики цветочное оформление рассматривается как неотъемлемая часть пространственной композиции элемента планировочной структуры. Основной задачей методики являются установление категорий линейных параметров, характеризующих расположение объекта цветочного оформления в пространственной структуре элемента планировочной структуры города, определение оптимальной последовательности выполнения обследования, рекомендации по оформлению его результатов, выработка понятий, способствующих оценке объектов цветочного оформления. Качество цветочного оформления зависит от степени выполнения цветочным оформлением своей функциональной (композиционной) роли

в пространственной композиции городской территории. Оформление элемента планировочной структуры города может состоять из одного или нескольких объектов цветочного оформления (т. е. цветников) [1–4].

### Содержание методики исследований

При разработке методики с целью выявления композиционной роли и значимости цветочного оформления автором были приняты следующие основные понятия: *доминанта, акцент, фон*.

*Доминанта* взаимодействует со всеми элементами пространственной композиции объекта, ее удаление полностью изменяет или даже разрушает композицию. Основные выразительные средства: *размеры, форма, цвет*.

*Акцент* взаимодействует со всей пространственной композицией или ее частью, усиливает существующую композицию или имеет местное значение. Удаление акцента может привести к обеднению композиции, частичной деградации. Основные выразительные средства: *форма, размеры, цвет, фактура*.

*Фон*, или фоновый цветник, создает окружение для более значимых элементов композиции. Основные выразительные средства: *размеры, цвет и фактура*.

На основании предварительного изучения проектных материалов по цветочному оформ-

№	Адресная привязка	Размер планшета (м <sup>2</sup> )	ТПС	Структура композиц ии	Роль цветника пространственной структуре	Расстояние, с которого воспринимается цветник (м)						Размер цветника (м <sup>2</sup> )						Размер деталей композиции цветника (м)					Структура цветника			Оценка композиционной роли цветника	Оценка соответствия композиции и зоны восприятия		Примечание
						до 6	До 10	До 25	До 60	До 135	> 135	До 30	До 70	До 150	До 350	До 500	Более 500	нет	0,15	0,3	1	> 1	инертные	травянистые	кустарники		С	Н	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Рисунок. Таблица исходных данных по методике проведения оценки объектов цветочного оформления и определения соответствия их масштабности элементам планировочной структуры

Fig. Table of initial data on the methodology for assessing the objects of floral design and determining the correspondence of their scale to the elements of the planning structure

лению и проведения натурных обследований городских территорий нами предложено проводить исследование в 2 этапа [5–7].

*Первый этап* работы направлен на обследование и выявление пространственных характеристик городских территорий, имеющих цветочное оформление, а также на установление *линейных параметров объектов цветочного* оформления и расположения зон (точек) восприятия. Включает визуальные исследования (визуально-ландшафтный анализ) по определению местоположения в пространстве городской среды и композиционной роли самого объекта цветочного оформления (цветника). Исследование первого этапа состоит из двух частей — А и Б; они могут проводиться как последовательно, так и параллельно.

*Второй этап* исследований направлен на выявление: предпочтительных *линейных характеристик* объектов цветочного оформления (их масштабности); типологических ситуаций и пространственных характеристик элементов планировочной структуры (в том числе, ширина улиц, высота застройки), типичных для конкретной климатической зоны (или местного микроклимата).

Исследования *первого этапа* могут выполняться как самостоятельные.

Исследования *второго этапа* выполняются после получения результатов первого этапа.

Исходная информация для проведения обследования цветочного оформления элементов планировочной структуры города для оценки размещения объектов цветочного оформления городских территорий включает [8–10]:

1. Топографические материалы масштабов 1:2000, масштаб 1:1000 для крупных территорий, 1:500 для малых территорий.

2. Проектные материалы масштабов 1:500, масштаб 1:200, масштаб 1:100.

3. Информационные системы обеспечения градостроительной деятельности.

4. Натурные обследования (рисунок).

Этап 1А. Исследования, направленные на определение основных пространственных характеристик элементов планировочной структуры городских территорий.

Основными пространственными характеристиками элементов планировочной структуры, оказывающими влияние на выбор композиционных приемов цветочного оформления, являются:

— размер планшета;

— высота визуальных условных ограждений;

— тип пространственной структуры элемента планировочной структуры;

— расстояние (длина луча), с которого воспринимается объект цветочного оформления.



*Планишет* — горизонтальная основа пространства, имеющего визуальные условные ограждения и воспринимаемого человеком, находящимся внутри этого пространства, как единое целое. Величина планшета зависит от размеров планировочных элементов или их частей в случае наличия в их структуре озелененных участков с древесными насаждениями, влияющими на тип пространственной структуры. *Площадь планшета* — площадь территории, имеющей визуальные границы (реальные и условные).

*Тип пространственной структуры объекта:* открытый, закрытый, полуоткрытый. Характеристика выражает соотношение высоты условных границ восприятия и величины планшета.

*Объект цветочного оформления* — декоративный элемент оформления территории, имеющий в своей структуре цветочные растения, злаки, кустарники, инертные материалы.

*Расстояние* (длина луча), с которого объект цветочного оформления воспринимается как элемент композиции (точки и зоны восприятия), зависит от ландшафтно-планировочного решения объекта в целом. Возможно наличие нескольких уровней *зон восприятия* — в этом случае будет несколько оптимальных расстояний.

*Зона восприятия* объекта цветочного оформления образуется при локализации точек восприятия на определенной площади, линии.

Для сравнительного анализа расстояния в соответствии с основными изменениями уровней детализации цветников обобщены в таблицу.

В случае наличия в пределах одного планшета нескольких объектов цветочного оформления возникает необходимость определения *структуры композиции* цветочного оформления как части элемента планировочной структуры города. В практике архитектурно-ландшафтного проектирования для цветочного оформления городских объектов, как правило, применимы *линейные, центричные и полицентричные* композиционные приемы. Определение композиционной роли цветочного оформления предлагается осуществлять в соответствии с его функциональной ролью в рассматриваемой пространственной структуре по установленным положениям: *доминанта, акцент, фон*.

Этап 1Б. Исследования, направленные на определение основных линейных параметров объектов цветочного оформления для рассматриваемых элементов планировочной структуры.

Для определения основных *линейных параметров* объектов цветочного оформления, необходимых для дальнейшего сравнительного анализа, и выясняют следующие данные:

— размер объекта цветочного оформления (цветника), выражается в площадной характеристике, м<sup>2</sup>;

— размер деталей композиции объекта цветочного оформления, м.

Структура объекта цветочного оформления (наличие инертных материалов и кустарниковых растений), оценка композиционной (функциональной) роли цветника и оценка соответствия композиции объекта цветочного оформления и зоны восприятия определяются визуально в ходе натурного обследования. Оценка композиционно-функциональной роли цветочного оформления проводится по следующим критериям:

<i>Качественные критерии оценки</i> .....	<i>Оценка</i>
Является центром композиции .....	4
Закрепляет, обогащает композицию .....	3
Нейтрален по отношению к композиции (не выполняет роли акцента) .....	2
Диссонирует, является лишним элементом, разрушает композицию .....	1

Оценка соответствия композиции цветника и зоны его восприятия характеризует «читаемость» композиции (деталей рисунка, объемов) из зоны (точек) восприятия и проводится по следующим критериям:

— «соответствие», т. е. композиция хорошо просматривается со всех зон, на которые она ориентирована;

— «нет соответствия», т. е. композиция «не читается», не работает.

На «читаемость» композиции могут повлиять особенности рельефа, их наличие отражается в примечании к данным обследования.

Этап 2. Определение обоснованности места размещения объектов цветочного оформления по отношению к элементу планировочной структуры и зонам восприятия.

Анализ места размещения цветника проводится по следующим позициям:

— пространственная характеристика элемента планировочной структуры;

— роль объекта цветочного оформления в пространственной композиции;

— расстояние, с которого воспринимается цветник (точки и зоны восприятия);

— оценка композиционной роли цветника.

По данным показателям определяется процентное соотношение объектов цветочного оформления, выполняющих композиционную роль в пространственной структуре городской среды.

Анализ точек и зон восприятия проводится по следующим позициям:

— минимальное и максимальное расстояние до объекта цветочного оформления;

— совмещенное минимальное и максимальное расстояние;

**Уровни детализации объекта цветочного оформления  
с учетом удаленности точки восприятия**  
Levels of detail of the flower design object taking into account remoteness of the point of perception

Расстояние до цветника, м	Масштабность цветника и общей картины восприятия	Степень распознавания деталей цветника	Восприятие цветника
До 6	Воспринимаются отдельные растения	Индивидуальность растений	Цвет и фактура отдельных деталей растения
До 10	Воспринимается цветник (часть цветника) группы растений	Детали рисунка от 15 см	Цвет и фактура поверхности цветника
До 25	Цветник воспринимается как часть пространственной композиции (планшет 70 × 70 м <sup>2</sup> )	» » от 30 см	Цвет, измененная (сглаженная) фактура, рисунок
До 60	Цветник воспринимается как один из элементов пространственной композиции (планшет 140 × 140 м <sup>2</sup> )	» » от 1 м (в перспективе)	Цвет поверхности, сочетание крупных деталей с учетом цветовой перспективы
До 135	То же (планшет 280 × 280 м <sup>2</sup> )	» » от 3 м (в перспективе)	Цвет поверхности с учетом цветовой и воздушной перспективы
Свыше 135	Элемент пространственной композиции		Цветовое пятно с учетом цветовой и воздушной перспективы

- размер деталей композиции;
- оценка композиционной роли цветника.

По данным показателям определяются обоснованность композиционной структуры цветника, предпочтения, связанные с климатическими характеристиками, и др.

Определение масштабности цветочного оформления по отношению к элементу планировочной структуры и зонам восприятия проводится по следующим позициям:

- размер планшета;
- тип пространственной структуры;
- размер объекта цветочного оформления;
- оценка соответствия композиции объекта цветочного оформления (цветника) и зоны восприятия;
- оценка композиционной роли объекта цветочного оформления (цветника).

По данным показателям определяется оптимальное соотношение размеров планшета и объекта цветочного оформления с учетом экологических и климатических условий. На основании исследований, проведенных по данной методике, возможна разработка научно обоснованных рекомендаций по цветочному оформлению

городских территорий в различных климатических условиях.

### Список литературы

- [1] Владимиров В.В., Микулина Е.М., Яригина З.Н. Город и ландшафт. М.: Мысль, 1986. 240 с.
- [2] Гейл Ян., Гемзо Л. Новые городские пространства. М.: КРОСТ, 2012. 264 с.
- [3] Гостев В.Ф., Юскевич Н.Н. Проектирование садов и парков. М.: Стройиздат, 1991. 342 с.
- [4] Джейкобс А.Б. Великие улицы. М.: Искусство – XXI век, 2014. 344 с.
- [5] Минервин Г.Б., Шимко В.Т., Ефимов А.В. Дизайн: иллюстрированный словарь-справочник. М.: Архитектура-С, 2004. 288 с.
- [6] Шимко В.Т. Архитектурно-дизайнерское проектирование. Основы теории (средовой подход). М.: Архитектура, 2009. 408 с.
- [7] Шимко В.Т. Архитектурное формирование городской среды. М.: Высшая школа, 1990. 224 с.
- [8] Шимко В.Т. Основы дизайна и средового проектирования. М.: Архитектура-С, 2005. 160 с.
- [9] Шимко В.Т., Гаврилина А.А. Типологические основы художественного проектирования архитектурной среды. М.: Архитектура-С, 2004. 102 с.
- [10] Федоров М.В., Королев Ю.И. Объемно-пространственная композиция в проекте и в натуре. М.: Госстройиздат, 1961. 158 с.

### Сведения об авторе

**Семенкова Елена Васильевна** — заместитель начальника Управления архитектурно-художественного облика города Москвы, Комитет по архитектуре и градостроительству города Москвы (Москомархитектура), e-mail: enica@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.12.2016 г.

## ABOUT THE METHODOLOGY OF EXAMINING THE FLOWER ARRANGEMENT OF VARIOUS ELEMENTS OF THE CITY PLANNING STRUCTURE

**E.V. Semenkova**

Committee on Architecture and Urban Planning of the City of Moscow (Moskomarkhitektura),  
125047, Moscow, Triumfalna pl., 1

enica@mail.ru

The article deals with some results of studying floral design element of the city structure to assess the placement of objects in floral design. The suggested methods can be used to estimate the quality of urban floral design. The above methods regard the floral design as one of the city structure elements in its planning procedure and bring it as a part (or a piece) in a single unit. The basic function of this methodology is to set the statements to evaluate the suitability of floral design elements, to determine the optimal order of testing floral design facilities and to make some useful recommendations to develop new flower gardens and/or to redesign the present ones. The following surveys are held according to the data received during the assessment. The goal of the surveys is to identify specific features of floral design objects for revealing typological situations of structure elements which are typical of the definite climate zone. To assess the functional role of the floral design object, the following criteria are used: the object of the survey is the center of the composition; — the object completes and dresses the composition; — the object is neutral to the composition; — the object doesn't discord and break the composition. According to the surveys made with the help of this methodology the decisions about reconstruction of floral design and the proposals on the optimization of expenses for the city floral design could be made. These surveys could be the base for development of methodical recommendations on floral design of city territories of any climate zones.

**Key words:** the methodology of examining the floral design among the city structure elements, the assessment of the functional role of a floral design object, the role of floral design in the composition, a dominant, an emphasis, a background

**Suggested citation:** Semenkova E.V. *O metodike provedeniya obsledovaniya tsvetochnogo oformleniya razlichnykh elementov planirovochnoy struktury goroda* [About the methodology of examining the flower arrangement of various elements of the city planning structure]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 15–19. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-15-19

### References

- [1] Vladimirov V.V., Mikulina E.M., Yarigina Z.N. *Gorod i landshaft* [A City and a landscape]. Moscow: Mysl Publ., 1986, 240 p.
- [2] Gehl Jan and Gemzше Lars. *Novye gorodskie prostranstva* [New city spaces]. Moscow: KROST Publ., 2012, 264 p. (in Russian)
- [3] Gostev V.F., Yuskevich N.N. *Proektirovanie sadov i parkov* [Designing of gardens and parks]. Moscow: Stroyizdat Publ., 1991, 342 p. (in Russian)
- [4] Jacobs Allan B. *Velikie ulitsy* [Great streets]. Moscow: Iskusstvo XXI vek Publ., 2014, 344 p.
- [5] Minervin G.B., Shimko V.T., Efimov A.V. *Dizayn. Illyustrirovannyi slovar'-spravochnik* [Design. Illustrated dictionary directory]. Moscow: Arkhitektura-S Publ., 2004, 288 p. (in Russian)
- [6] Shimko V.T. *Arkhitekturno-dizaynerskoe proektirovanie. Osnovy teorii (sredovoy podkhod)* [Architectural and design engineering]. Moscow: Arkhitektura-S Publ., 2009, 408 p. (in Russian)
- [7] Shimko V.T. *Arkhitekturnoe formirovanie gorodskoy sredy* [Architectural forming the urban environment]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 1990, 224 p. (in Russian)
- [8] Shimko V.T. *Osnovy dizayna i sredovogo proektirovaniya* [Fundamentals of design and environmental engineering]. Moscow: Arkhitektura-S Publ., 2005, 160 p. (in Russian)
- [9] Shimko V.T., Gavrilina A.A. *Tipologicheskie osnovy khudozhestvennogo proektirovaniya arkhitekturnoy sredy* [Typological bases of art designing of architectural environment]. Arkhitektura-S Publ., 2004, 102 p. (in Russian)
- [10] Fedorov M.V., Korolev Yu.I. *Ob'emno-prostranstvennaya kompozitsiya v proekte i v nature* [The volume-spatial composition in the project and in nature]. Moscow: Gosstroyizdat Publ., 1961, 158 p. (in Russian)

### Author's information

**Semenkova Elena Vasil'evna** — Deputy Head of the Department of Architectural and Artistic Image of the City of Moscow, Committee for Architecture and Urban Planning of the City of Moscow (Moscomarchitecture), e-mail: enica@mail.ru

Received 28.12.2016

## АНАЛИЗ РИСКОВ В ЛАНДШАФТНОМ ДИЗАЙНЕ

А.П. Першина, Т.С. Хруль, Е.О. Иванова

Институт кибернетики Томского политехнического университета, 634050 г. Томск, пр-т Ленина, д. 30

rap@tpu.ru

Рассмотрены основные аспекты современного ландшафтного дизайна. Традиционная схема разработки дизайн-проектов, которая используется в настоящее время, сопряжена с существенными финансовыми и временными затратами — с момента получения заказа от клиента до даты передачи ему рабочей документации. Данный процесс идет без обратной связи, т. е. без анализа последствий его реализации. Представлена новая концепция разработки дизайн-проектов. Новизна предлагаемой методики заключается в следующем: в процесс разработки дизайн-проектов включен этап анализа и минимизации эксплуатационных рисков, на котором выявляются риск-факторы в типовых проектах, дается экспертная оценка степени рисков и путем решения оптимизационной задачи «игра с природой» методом Сэвиджа выбирается типовой проект с минимальными рисками для клиента. В этом случае работа фирмы под заказ будет сведена к адаптации выбранного типового проекта к конкретным условиям с минимальными эксплуатационными рисками, что позволит повысить конкурентоспособность фирмы и существенно расширить клиентскую базу. Решение практической задачи анализа эксплуатационных рисков рассматривается на конкретном примере.

**Ключевые слова:** ландшафтный дизайн, дизайн-проект, типовой проект, риски, риск-фактор, теория игр, критерий Сэвиджа

**Ссылка для цитирования:** Першина А.П., Хруль Т.С., Иванова Е.О. Анализ рисков в ландшафтном дизайне // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 20–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-20-25

По мере развития крупных городов и связанного с их ростом заметного ухудшения состояния окружающей среды возрастает осознание человеком экологических и эстетических приоритетов. Городские жители в попытке снижения негативного воздействия промышленных факторов, желая выделиться и привлечь внимание к себе, прибегают к различным способам ландшафтного проектирования как в парковой, городской среде, так и в организации придомовой территории жилых районов. Особую популярность ландшафтный дизайн получил в индивидуальном жилищном строительстве, где стремление создать комфортную, удобную и художественно оформленную атмосферу экстерьерного окружения наиболее выражено.

Профессиональный ландшафтный дизайн включает в себя некоторые аспекты строительства, ботаники и культуры. С учетом этих трех составляющих был выработан классический подход к ландшафтному проектированию, при котором проектирование проходит пять стадий [1].

Первая стадия — *Обследование территории*, сбор всей необходимой информации об объекте: геодезическая съемка, геологические изыскания, инвентаризация, инсоляционный анализ, оценка местоположения участка, выявление благоприятных и неблагоприятных видовых точек, расположения существующих коммуникаций.

Вторая стадия — *Оценка территории* (составление ситуационного плана, на котором в виде схемы отображается вся информация, собранная на первой стадии).

Третья стадия — *Ландшафтный анализ территории* (переговоры, составление технического задания, отражающего требования и пожелания заказчика в соответствии с ситуационным планом).

Четвертая стадия — *Композиционное решение, или эскизное проектирование* (эскиз территории, на котором разграничены основные пространства объекта). Как правило, заказчику предлагается на рассмотрение не менее двух концептуально различных по стилистике и планировке вариантов. Территория разбивается на функциональные зоны, решается вопрос трансформации рельефа и размещения в саду ландшафтных элементов (древесно-кустарниковой растительности, цветников, газонов, водоемов, малых архитектурных форм). Прокладывается дорожно-тропиночная сеть, определяются необходимые меры по техническому оснащению участка (полив, освещение и дренаж). Одновременно составляется предварительная смета реализации предложенных вариантов. Расчеты наглядно сравниваются, варианты эскизов дорабатываются, в результате чего утверждается основная концепция планировки проекта. Количество и качество предложенных эскизных вариантов и объем проектирования в целом прописываются в договоре.

Пятая стадия — *Генеральный план, или рабочее проектирование* (детальная организация пространства объекта). Эта стадия включает в себя создание разбивочного и посадочного чертежа (дендроплана), схемы размещения осветительных, поливочных и дренажных элементов. Более полные по составу ландшафтные проекты при необходимости могут содержать планы вер-

тикальной планировки, чертежи малых архитектурных форм и сооружений, детальные планы цветников с указанием мест посадок для каждого вида растений. Составляется спецификация инженерных и строительно-отделочных материалов, ассортиментный перечень растений.

В зависимости от политики и статуса фирмы заключение договора и предоплата происходят либо на первой, либо на четвертой стадии ландшафтного проектирования [2]. В последнем случае первая и вторая стадии носят поверхностный (визуальный) характер.

Ландшафтный дизайн — это бизнес с хорошей рентабельностью, быстрой окупаемостью и растущим спросом, успешность которого зависит от многих факторов, в том числе и от умения предугадывать риски [3]. Риск представляет собой сочетание события с определенными нежелательными последствиями. В современном мире рискам стали уделять особое внимание, так как от них во многом зависит успешность любой предпринимательской деятельности. Это касается и доходности и конкурентоспособности фирм по разработке проектов ландшафтного дизайна.

В настоящее время в любой сфере жизнедеятельности выделяют следующие классы риска: производственный, коммерческий и финансовый [4].

Коммерческий риск — это риск, возникающий в процессе реализации товаров и услуг, в нашем случае — при внедрении дизайнерских проектов. Причинами коммерческого риска являются: снижение спроса вследствие изменения конъюнктуры или других обстоятельств, повышение себестоимости и закупочных цен на материалы и др.

Финансовый риск связан с уменьшением ценности денежной единицы, т. е. с обесцениванием инвестиционно-финансового портфеля вследствие изменения валютных курсов.

Производственный риск связан с невыполнением предпринимателем своих планов и обязательств в результате неблагоприятного воздействия различных внешних и внутренних факторов. Источником возникновения внешних рисков является внешняя по отношению к предпринимательской фирме среда. Предприниматель не может оказывать влияние на внешние риски, он может только предвидеть и учитывать их в своей деятельности. К внешним относятся риски, вызванные: непредвиденными изменениями законодательства, регулирующего предпринимательскую деятельность; неустойчивостью политического режима; развязыванием войн; национализацией; забастовками; введением эмбарго и т. п. Источником внутренних рисков является сама предпринимательская фирма. Эти риски

возникают в случае неэффективного менеджмента, ошибочной маркетинговой политики, а также в результате внутрифирменных злоупотреблений. Основными среди внутренних рисков являются кадровые риски, связанные с профессиональным уровнем и личными особенностями сотрудников предпринимательской фирмы, а также с проблемами системы внутреннего контроля и недостаточно четко разработанными должностными инструкциями, которые приводят к ошибкам и низкой производительности труда сотрудников и т. д. [5].

Все эти риски характерны и для ландшафтного дизайна, однако в данной сфере деятельности у них есть некоторые особенности. Коммерческий и финансовый риски сказываются главным образом на снижении спроса на дизайн-проекты (несостоятельность заказчиков, неплатежи, банкротство) и проявляются, как правило, в периоды экономического спада и кризиса в стране, чаще всего — в межсезонье. В отличие от коммерческих и финансовых рисков, производственные риски мало зависят от экономической стабильности и могут проявляться постоянно. И если внутренними производственными рисками можно как-то управлять, например, путем отбора высококвалифицированных специалистов, четкой регламентации выполнения задач, контроля исполнения должностных инструкций и т. д., то с внешними производственными рисками дело обстоит значительно сложнее. В настоящее время фирмы, занимающиеся разработкой ландшафтных проектов по классической схеме, не уделяют должного внимания процессу анализа рисков. В связи с этим возрастает опасность разорения дизайнерских фирм, относящихся, как правило, к малому бизнесу и не имеющих финансового «буфера».

## Методы и исследования

Мы предлагаем методику технологического процесса разработки и внедрения проектов ландшафтного дизайна, основанную на использовании унифицированных проектов и включающую этап анализа внешних производственных рисков. В этом случае деятельность коммерческой фирмы предлагается осуществлять по следующей схеме.

1. Разработка и расширенное рекламирование нескольких типовых вариантов ландшафтных дизайн-проектов, разнообразных по содержанию и состоящих из готовых блок-элементов (газон, фонтан, искусственный водоем и т. д.). Каждый блок-элемент имеет вариации по геометрии, наполнению и материалам.

2. Работа с заказчиком по выбору нескольких понравившихся вариантов типовых проектов. Предоплата. Обследование, оценка территории

и, при необходимости, проведение геодезических исследований местности. Анализ территории и эскизное проектирование осуществляется посредством наложения унифицированных (типовых) проектов, выбранных заказчиком, на его ситуационный план, а также путем модификации блок-элементов в соответствии с параметрами участка и учетом пожеланий заказчика.

3. Анализ внешних производственных рисков и решение задачи математического моделирования, результатом которого является выбор наиболее экономичного варианта проекта с точки зрения дальнейшей его эксплуатации.

4. Согласование с заказчиком окончательного варианта проекта. Разработка проектно-сметной документации. Окончательный расчет с заказчиком.

В этом случае финансовые риски могут проявиться только на последнем этапе работы. Но данный этап, благодаря типовому проектированию, наименее продолжителен по сравнению с тремя первыми, поэтому вероятность потери доходов для фирмы будет минимальной. Наибольшие убытки следует ожидать от коммерческих рисков, основной причиной которых может стать высокая конкуренция, так как данный вид услуг приобретает все большую популярность и на рынок выходит все большее число фирм соответствующего профиля. Предлагаемая методика позволяет повысить конкурентоспособность дизайнерской фирмы. Применение научного метода минимизации эксплуатационных затрат разрабатываемого проекта позволит привлечь новых клиентов и таким образом расширить клиентскую базу.

Факторов риска, влияющих на разработку и эксплуатацию дизайн-проекта, достаточно много. Это рельеф местности, климатические условия, состав грунта, система орошения и освещения, роза ветров и т. д. В предлагаемой схеме разработки дизайн-проекта анализ подобных внешних рисков рассматривается как отдельная задача. Исходными данными являются, во-первых, полный состав риск-факторов для типовых проектов и, во-вторых, степень риска в соответствии с ситуационным планом. Такую информацию получают, как правило, методом экспертно-рейтинговых оценок. Экспертом — специалистом, компетентным в данной области и прекрасно знающим проблему, — может быть агроном, который входит в штатный состав фирмы. Как правило, эксперт оценивает вероятность наступления риска по следующей шкале: 0 — вероятность того, что риска не существует, 25 — риск маловероятен, 50 — возможность наступления риска не определена, 75 — существует возможность возникновения риска, 100 —

риск неминуем. Результаты представляют в виде заполненной таблицы «Рейтинг рисков» [6]. Далее проводится количественная оценка затрат на ликвидацию последствий воздействия каждого из соответствующих факторов риска для всех вариантов проекта. Затраты оцениваются специалистами фирмы исходя из рыночных цен соответствующего региона. Далее наша методика предполагает решение задачи, связанной с выбором окончательного, наиболее экономически безопасного типового варианта дизайн-проекта. Предлагаем использовать для этого один из математических методов принятия решений. Наиболее приемлемым, с нашей точки зрения, является один из разделов прикладной математики — теория игр [7]. Теория игр занимается разработкой различного рода рекомендаций по принятию решений в условиях конфликтной ситуации. Математическая модель конфликтной ситуации называется игрой; стороны, участвующие в конфликте, — игроками, а исход конфликта — выигрышем. Для каждой формализованной игры вводят правила, которые устанавливают допустимые действия каждого игрока в процессе игры. Совокупность правил, определяющих выбор его действия при каждом личном ходе в зависимости от сложившейся на данный момент времени ситуации, называется стратегией игрока. Математической моделью теории игр является платежная матрица

$$P = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$$

Строки матрицы  $P$  соответствуют стратегиям первого игрока, а столбцы — стратегиям второго. В результате выбора игроками пары стратегий из всех возможных для них стратегий, а именно

$$A_i \text{ и } B_j, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

однозначно определяется исход игры, т. е. выигрыш  $a_{ij}$  игрока  $A$  и проигрыш  $(-a_{ij})$  игрока  $B$ .

Наибольший интерес для нас представляет раздел теории игр, в котором условия игры зависят не от сознательных действий одного из игроков, именуемого в дальнейшем «природа», а от совокупности неопределенных факторов, влияющих на эффективность решений, принимаемых другим игроком.

Рассмотрим один из эффективных критериев, используемых при выборе оптимальной стратегии в играх с природой, — критерий Сэвиджа [8]. В качестве основной модели в данном случае рассматривается матрица рисков  $R$ , элемен-

Т а б л и ц а

**Сравнение рисков, связанных с осуществлением проектов 1, 2 и 3**  
**Comparison of the risks associated with the implementation of projects 1, 2 and 3**

	Риск 1	Риск 2	Риск 3	Риск 4	Риск 5
Проект 1	100				100
Проект 2		50		75	
Проект 3			25	25	25

Здесь: риск 1 — опасность схода талой воды с холма после снежной зимы; риск 2 — опасность вымерзания или загнивания корней деревьев вследствие близкого расположения грунтовых вод; риск 3 — опасность смывания плодородного слоя почвы за счет уклона участка; риск 4 — опасность неприживаемости посадок вследствие неподходящего состава почвы; риск 5 — опасность заболачивания водоема из-за состава грунта

тами которой являются убытки неоптимальной стратегии (дизайн-проекта),

$$R = \begin{pmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{pmatrix}_{m \times n} \quad (1)$$

где  $m$  — количество стратегий первого игрока;  
 $n$  — количество стратегий второго игрока (природы).

Оптимальное решение определяется выражением

$$\min_i (\max_j r_{ij}). \quad (2)$$

Здесь  $i = 1, 2, \dots, m, j = 1, 2, \dots, n$ .

### Результаты и обсуждение

Таким образом, оптимальным решением задачи на основании критерия Сэвиджа является номер стратегии игрока  $A$ , обеспечивающей минимальные потери от рисков.

В нашем случае мы имеем право рассматривать в качестве стратегий природы (игрока  $B$ ) риски соответствующей предметной области, т. е. факторы неопределенности дизайнерского проектирования. Стратегиями игрока  $A$  (ландшафтного дизайнера) является не что иное, как совокупность выбранных клиентом вариантов проекта.

Тогда  $r_{ij}$  представляет собой затраты на ликвидацию последствий воздействия  $j$ -го фактора неопределенности (риска) для  $i$ -го варианта дизайн-проекта. В нашем случае оптимальным решением, полученным по выражению (2), будет вариант дизайн-проекта с минимальными затратами по всем рискам при их самом неблагоприятном проявлении.

Таким образом, выбрав экономически выгодный вариант из всех заинтересовавших заказчика дизайн-проектов, остается только доработать для него рабочую документацию на что уходит

не так много времени и передать ее заказчику при условии полной оплаты заказа.

Рассмотрим решение задачи анализа рисков на конкретном примере. Предположим, что на начальном этапе заказчик выбрал из двадцати предложенных дизайн-проектов три наиболее понравившихся варианта. Первый включает альпийскую горку, искусственный водоем, дорожно-тропиночную сеть и цветники. Второй вариант состоит из нескольких групп хвойных деревьев, спортивной площадки и газонов. Третий вариант, наиболее экзотический, включает фонтан, розарий, ягодные и ореховые кустарники и беседку. Предположим, что участок находится на территории одной из северных областей Западной Сибири и его обследование участка показало следующее: участок расположен у подножия холма, рельеф имеет незначительный уклон, грунтовые воды залегают очень близко от поверхности земли, почва по своим свойствам слабокислая, илистая. По оценкам агронома фирмы была составлена таблица рейтинга рисков.

Каждый из рисков сопряжен с убытками, связанными с определенными затратами на устранение опасности. Например, сход снега и талой воды с холма может привести к полному или частичному разрушению альпийской горки в первом проекте. Кроме того, илистый состав почвы может привести к заболачиванию водоема. Вероятность обоих рисков очень высока. Что касается второго варианта проекта, то в данном случае существует риск вымерзания или загнивания корней деревьев вследствие близкого расположения грунтовых вод, а также опасность, что не все хвойные деревья приживутся на илистом грунте и их придется восстанавливать. В третьем варианте проекта у всех посадок (розарий, ягодные и ореховые кустарники) корневая система поверхностная, и посадки, как правило, на зиму укрывают. Поэтому вероятность смывания почвы или загнивания корней практически равна нулю. Заболачивание фонтана тоже ма-

вероятно, поскольку это автономное сооружение. Безусловно, затраты на восстановление предполагаемых последствий природных рисков предугадать трудно, поэтому в данном примере будем считать их одинаковыми для каждого вида рисков и примем равными 100 руб. на единицу реализуемого риска. При рассмотрении гипотетического примера мы не ставим перед собой задачу выполнить реальные финансовые расчеты. Наша цель — продемонстрировать практическое применение метода Сэвиджа в дизайнерском проектировании.

В нашем случае матрица рисков примет следующий вид

$$R = \begin{pmatrix} 10000 & 0 & 0 & 0 & 10000 \\ 0 & 5000 & 0 & 7500 & 0 \\ 0 & 0 & 2500 & 2500 & 2500 \end{pmatrix}.$$

Максимальные риски по каждому проекту будут равны

$$\max_j = \begin{pmatrix} 10000 \\ 7500 \\ 2500 \end{pmatrix}.$$

Оптимальное решение в соответствии с критерием Сэвиджа:

$$\min_i (\max_j r_{ij}) = 2500.$$

## Выводы

Таким образом, в нашем примере минимальные затраты на устранение последствий рисков при самых неблагоприятных условиях составляют 2500 руб. Это соответствует третьему варианту проекта, т. е. для указанного участка наиболее выгодным для заказчика является наличие фонтана, розария, ягодных и ореховых кустарников и беседки.

В статье не рассматриваются вопросы, связанные с общей стоимостью проекта, здесь вы-

бор вариантов предоставляется на рассмотрение клиенту исходя из его финансовых возможностей. Предлагаемая методика разработки ландшафтных проектов связана в первую очередь с решением проблем риск-менеджмента (затрат, связанных с устранением последствий проявления неблагоприятных событий), т. е. с выбором оптимального варианта проекта с точки зрения минимизации эксплуатационных расходов для заказчика. Зачастую такие затраты с течением времени могут превысить начальную стоимость проекта, иногда и в разы. Кроме того, предлагаемая методика позволяет существенно сократить расходы фирмы, связанные с выполнением заказов, — благодаря использованию типовых проектов с последующей привязкой их к конкретной местности. Это значительно дешевле, чем выполнение разработки «с нуля».

## Список литературы

- [1] Мочалов И.В. Метод ландшафтного анализа и образный ландшафтный дизайн // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2000. № 5. С. 96–100.
- [2] Нехуженко Н.А. Основы ландшафтного проектирования и ландшафтной архитектуры: учеб. пособие. 2-е изд., испр. и доп. СПб.: Питер, 2011. С. 192.
- [3] Как сделать бизнес на ландшафтном дизайне / Российский портал Openbusiness.ru [Электронный ресурс]. URL: <http://www.openbusiness.ru/html/sadovod1.htm> –
- [4] Анализ рисков, методы оценки рисков, классификация рисков, 2015. URL: <http://www.estimatica.info/assessment/standards-and-methods/85-postavit-na-kartu-klassifikatsiya-i-otsenka-riskov>. – Поставить на карту: классификация и оценка рисков.
- [5] Костицын Н.А. Риски человеческого фактора в системе рисков организации // Управление развитием персонала, 2006. № 2 (6). С. 122–129.
- [6] Емельянова Ю.А., Одинцева А.В. Разработка информационных систем управления рисками для предметных областей / Информационные технологии в науке, управлении, социальной сфере и медицине: сб. науч. тр. II Международной конференции, Томск, 19–22 мая 2015 г. Томск: Изд-во ТПУ, 2015. С. 137–138.
- [7] Садовин Н.С., Садовина Т.Н. Основы теории игр: учебное пособие. Йошкар-Ола: МарГТУ, 2011. С. 119.
- [8] Степанов В.Р. Основы теории принятия решений: экспериментальное учеб. пособие. Чебоксары: Клио, 2004. С. 134.

## Сведения об авторах

**Першина Альбина Петровна** — старший преподаватель кафедры программной инженерии Института кибернетики Томского политехнического университета, e-mail: [rap@tpu.ru](mailto:rap@tpu.ru)

**Хруль Татьяна Сергеевна** — старший преподаватель кафедры инженерной графики и промышленного дизайна Института кибернетики Томского политехнического университета, e-mail: [hts@tpu.ru](mailto:hts@tpu.ru)

**Иванова Елена Олеговна** — научный сотрудник Института кибернетики Томского политехнического университета, e-mail: [eoil@tpu.ru](mailto:eoil@tpu.ru).

Статья поступила в редакцию 15.02.2017 г.



## RISK ANALYSIS IN LANDSCAPE DESIGN

A.P. Pershina, T.S. Khrul, E.O. Ivanova

Institute of Cybernetics Tomsk Polytechnic University, 634050 Tomsk, Tomsk oblast, av. Lenina, 30.

pap@tpu.ru

The content of the article is concentrated on the study of the fundamental aspects related to the modern, rapidly developing and promising life activity, that is, to the landscape design. The traditional scheme of developing design projects which currently involves substantial financial and time expenses on the receipt of an order from a customer up to the date of providing all the necessary documentation. In this case, the process goes on without any feedback, i.e., without analysis of its implementation implications. The article introduces a new concept of considering the development of design projects. The novelty of the proposed methodology is as follows: the process of developing design projects suggests including the analysis phase and that of minimizing the operational risks by identifying risk factors in model projects, the expert evaluation of their extent and by making the choice of a project model with minimal risk for customers by means of solving the optimization tasks by using the Savage method, i.e. «playing with nature». This will make the development of design projects more attractive to customers and expand your client base. Our work under the order in this case will be reduced to adaptation to the specific conditions of the selected model project with minimal operational risk management that will enhance the firm's competitiveness and significantly expand your customer base. The solution of practical tasks of operational risk analysis is discussed in the article on a specific example.

**Keywords:** landscape design, design project, model project, risks, risk factor, game theory, the Savage criteria

**Suggested citation:** Pershina A.P., Khrul T.S., Ivanova E.O. *Analiz riskov v landshaftnom dizayne* [Risk analysis in landscape design]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 20–25. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-20-25

## References

- [1] Mochalov I.V. *Metod landshaftnogo analiza i obraznyy landshaftnyy dizayn* [The method of landscape analysis and figurative landscape design] Moscow state forest university bulletin – *Lesnoy vestnik*, 2000, no. 5, pp. 96-100. (in Russian)
- [2] Nekhuzhenko N.A. *Osnovy landshaftnogo proektirovaniya i landshaftnoy arkhitektury* [Fundamentals of landscape design and Landscape architecture]. St. Petersburg: Peter Publ., 2011, 192 p. (in Russian)
- [3] *Kak sdelat' biznes na landshaftnom dizayne. Rossiyskiy portal Openbusiness.ru* How to do business on the landscape design. Russian portal Openbusiness.ru [Electronic resource]. Available at: <http://www.openbusiness.ru/html/sadovod1.htm>. (in Russian)
- [4] *Analiz riskov, metody otsenki riskov, klassifikatsiya riskov* [Risk analysis, risk assessment methods, risk classification. Put on the map: classification and risk assessment]. [Electronic resource], 2015. Available at: <http://www.estimatica.info/assessment/standards-and-methods/85-postavit-na-kartu-klassifikatsiya-i-otsenka-riskov>. (in Russian)
- [5] Kostitsyn N.A. *Riski chelovecheskogo faktora v sisteme riskov organizatsii* [Human Factors Risks in the Organization's Risk System] *Personnel Development Management*, 2006, no. 2 (6), pp. 122-129. (in Russian)
- [6] Emel'yanova Yu.A., Odintseva A.V. *Razrabotka informatsionnykh sistem upravleniya riskami dlya predmetnykh oblastey* [Development of information systems for risk management for subject areas]. Coll. Works of the II International Conference / APPershina. Tomsk: TPU Publ., 2015, pp. 137-138. (in Russian)
- [7] Sadovin N.S., Sadovina T.N. *Osnovy teorii igr* [Fundamentals of Game Theory]. Yoshkar-Ola: Mari State University Publ., 2011, 119 p. (in Russian)
- [8] Stepanov V.R. *Osnovy teorii prinyatiya resheniy* [Fundamentals of decision theory]. Cheboksary: Klio Publ., 2004, 134 p. (in Russian)

## Author's information

**Pershina Albina Petrovna** — Senior Lecturer in software engineering, Institute of Cybernetics Tomsk Polytechnic University, e-mail: pap@tpu.ru

**Khrul Tatyana Sergeevna** — Senior Lecturer in engineering graphics and industrial design, Institute of Cybernetics Tomsk Polytechnic University, e-mail: hts@tpu.ru

**Ivanova Elena Olegovna** — Institute of Cybernetics Tomsk Polytechnic University, e-mail: eoi1@tpu.ru

Received 15.02.2017

## БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ГУМУСОВЫХ ВЕЩЕСТВ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА СВОЙСТВА СЕМЯН

Г.Н. Федотов<sup>1</sup>, М.Ф. Федотова<sup>1</sup>, В.С. Шалаев<sup>2</sup>, Ю.П. Батырев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова»,

119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Институт экологического почвоведения, МГУ

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

Для исследования эффекта стимуляции прорастания семян изучено влияние гуматов, приготовленных из гуминовых кислот (ГК) различного происхождения. Показано, что эффективность растворы гуматов из разных источников по эффективности различаются незначительно. Несколько меньшая эффективность свойственна препаратам из ГК белоподзолистой почвы, которые отличаются от ГК из других источников меньшим содержанием ароматических компонентов. Установлено, что препараты на основе гумусовых веществ (ГВ) из торфа, в состав которых кроме ГВ входят неспецифические вещества гумуса, обладают существенно более низкой биологической активностью по сравнению с гуматами из ГК, полученных из торфов. Выдвинуто предположение о том, что биологическая активность ГК связана с их способностью избирательно поглощать из биологических объектов свободными для сорбции активными центрами ГК ингибиторы биохимических реакций, а влияние ГК на развитие семян осуществляется через стимулирующее воздействие на эндофитные микроорганизмы и биохимические процессы в самих семенах. В связи с этим от попыток объяснить биологическую активность ГВ их действием только на семена (растения) необходимо переходить к рассмотрению действия ГВ на всю систему в целом, включая сами семена (растения) и их эндофитные и эпифитные микроорганизмы.

**Ключевые слова:** предпосевная обработка семян, повышение посевных качеств семян, эндофитные микроорганизмы, сорбция гумусовыми веществами ингибиторов биохимических процессов

**Ссылка для цитирования:** Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Биологическая активность гумусовых веществ и их влияние на свойства семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 26–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-26-36

Стимулирующее влияние гумусовых веществ (ГВ) на рост и развитие растений изучается давно и достаточно известно [1–28]. В литературе отмечается положительное влияние ГВ на развитие семян (при их предпосевной обработке или внесении ГВ в бедные почвы), укоренение черенков, корнеобразование и развитие растений в целом (повышение урожайности и качества продукции). Установлено, что во многих случаях использование ГВ снижает отрицательное воздействие неблагоприятных факторов среды.

Также установлено, что ГВ оказывают положительное влияние на развитие животных и птиц [2]. При использовании ГВ в качестве кормовой добавки повышается мясная продуктивность молодняка крупного рогатого скота, свиней и птицы. Известно применение препаратов ГВ и в медицине.

О механизме биологической активности ГВ выдвигают различные предположения. Этот вопрос тщательно изучали в отношении влияния ГВ на растения [2, 25]. Предполагали, что ГВ могут воздействовать на проницаемость клеточных мембран, увеличение доступности в почвах элементов питания за счет их комплексования ГВ и повышения подвижности, на дыхательный метаболизм и фотосинтез, передачу растениям гормонов роста от микроорганизмов и т. д. Рассматривали также возможность косвенного

влияния ГВ через повышение эффективности поглощения растениями удобрений и улучшение структуры почвы.

В связи с широким спектром действия ГВ было необходимо выбрать направление исследования, в котором количество возможных предполагаемых механизмов влияния ГВ на растительный организм было бы минимальным.

На наш взгляд, подобная минимизация количества вариантов наблюдается при воздействии ГВ на биохимические процессы при прорастании семян. Поэтому целью работы являлось исследование природы биологической активности ГВ, проявляющейся при прорастании семян после их предпосевной обработки растворами ГВ (повышение посевных качеств семян).

Основной проблемой при изучении этого направления биологической активности ГВ является небольшая величина эффектов стимуляции прорастания семян, которая во многих случаях значительно не превышает ошибку эксперимента, в основном обусловленную матрикальной разнородностью семян [18]. Поэтому для изучения влияния ГВ на посевные качества семян надо было последовательно решить следующие задачи:

— выбрать условия проращивания семян, при которых эффекты стимуляции прорастания семян проявляются наиболее сильно;

— выбрать культуру, для которой эффекты стимуляции прорастания семян имеют наибольшее значение, и понять причину различной эффективности применения ГВ для семян разных культур;

— изучить влияние обработки выбранных семян растворами ГК, выделенных из различных объектов, и препаратов на основе ГВ на развитие семян в условиях, обеспечивающих достижение максимального эффекта стимуляции;

— сравнить структурные и физико-химические особенности ГК и попытаться найти корреляцию с биологической активностью гуматов, проявляющейся при обработке семян.

### Объекты и методы исследования

В работе использовали семена с неглубоким покоем [10] — яровой пшеницы сортов Злата и МИС, озимой ржи сорта Валдай, озимого тритикале сорта Гермес и ярового ячменя сорта Владимир, а также семена двудольных растений: семейства бобовые — сои сорта Танаис и гороха сорта Рокет, семейства капустные — редиса сорта Розово-красный с белым кончиком и кресс-салата сорта Забава, семейства зонтичные — моркови сорта Королева осени и петрушки листовой сорта Фестивальная, семейства маревые — свеклы столовой сорта Цилиндра и шпината сорта Крепыш, семейства тыквенные — огурца сорта Нежинский и патиссона сорта Зеленый. Названия семейств даны в современной классификации [19].

Почву имитировали, используя влажный окатанный кварцевый песок с размером частиц 0,5–0,8 мм из месторождения в Рязанской области.

Изучали действие комплексного стимулятора на основе автолизата пивных дрожжей (АПД) производства ООО «Биотех плюс» (Россия) (100 г/л), включающего в свой состав препарат «Бутон» производства ООО «ПСК Техноэкспорт» (Россия) содержащий натриевые соли гиббереллиновых кислот в количестве 20 г/кг (16 г/л) и, для стабилизации суспензии, гумат калия (натрия) производства ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия) из бурого угля (5 г/л).

Гуматы для исследования их биологической активности готовили путем растворения гуминовых кислот в 1 %-ном растворе щелочи при нагревании с последующей нейтрализацией растворов гуматов (до pH = 6,8–7) путем добавления в них катионита КУ-2-8 в Н-форме.

Использовали ГК, полученные из торфа Олайнским заводом химических реактивов (ТУ 10П316–69) и фирмой «Мерк» (Германия), из выветрелого бурого угля, чернозема обыкновенного (Воронеж) и белоподзолистой почвы (горизонт А2h, Тверская область). Авторы бла-

годарны В.В. Демину за предоставление для исследования гуминовых кислот.

Препараты на основе ГВ из верхового сфагнового и низинного древесно-гравяного торфов готовили путем кипячения в течение часа в 1 %-ом растворе КОН с последующим отделением нерастворившейся части центрифугированием и нейтрализацией растворов гуматов (до pH = 6,8–7) путем добавления в них катионита КУ-2-8 в Н-форме.

Семена растворами (суспензиями) стимуляторов обрабатывали при расходе растворов 20...130 л на 1 т семян. Для этого 40 г семян помещали в пластиковую лодочку площадью 20 × 7 см, глубиной 4 см, добавляли навеску воды (раствора) 0,8...5 г и тщательно перемешивали примерно 1 мин до достижения равномерной окраски семян.

Качество стимулирующей обработки определяли по интенсивности выделения углекислоты [22] при контакте семян с влажным песком. Эксперименты проводили, помещая 5 г семян в 2 стаканчика объемом 100 мл, засыпая их 20 г сухого песка, добавляя из пипетки 5 г (или другое количество) воды так, чтобы вода достаточно равномерно увлажняла песок. После этого стаканчики с семенами ставили в стеклянную емкость объемом 3 л, которую герметично закрывали. Использовали обычные стеклянные трехлитровые банки, закрываемые пластиковыми крышками с отверстиями, в которые плотно мог входить зонд измерителя углекислоты Testo 535. Отверстия в крышках затыкали изнутри резиновыми пробками так, чтобы их можно было выталкивать внутрь банок, вставляя зонд измерителя. Емкости термостатировали при температуре 25 °С в камере, в которую входила 21 емкость. Опыты повторяли 7 раз. В каждой камере один из образцов (7 емкостей) был контрольным, по нему производили пересчет. Емкости в камере располагали в шахматном порядке, чтобы уменьшить влияние неоднородности распределения температуры. С этой же целью в камере располагали вентилятор, перемешивающий воздух. Через 24 ч измеряли концентрацию CO<sub>2</sub> в емкостях и пересчитывали количество выделившегося CO<sub>2</sub> на 1 г семян. При проведении измерения зонд измерителя помещали в емкость на 5 мин до достижения равновесия углекислоты, находящейся в емкости, с углекислотой, адсорбированной на чувствительной части поверхности зонда измерителя. Ошибка опыта с вероятностью 95 % не превышала 5 %.

Данная методика дает возможность исследовать в одном опыте от 1000 до 1500 семян зерновых и десятки тысяч мелких семян овощей. Это резко уменьшает ошибку экспериментов, связанную с разнокачественностью семян.

Т а б л и ц а

**Влияние влажности почвоимитирующего субстрата на эффективность действия комплексного стимулятора на некоторые культуры**

**The influence of the soil-imitating substrate humidity on the effectiveness of the complex stimulant influence on some croppers**

Культура, сорт	Расход, л/т	Влажность субстрата, %	Эффективность использования, %
Яровая пшеница, сорт Злата	20	25	22
		20	44
Яровая пшеница, сорт МИС	20	25	24
		20	42
Озимая рожь, сорт Валдай	20	25	24
		20	37
Озимый тритикале, сорт Гермес	20	25	20
		20	27
Яровой ячмень, сорт Владимир	20	25	10
		20	14
Соя, сорт Танаис	20	37,5	12
		25	19
Огурец, сорт Нежинский	20	25	9
		17,5	27
Шпинат, сорт Крепыш	20	25	6
		17,5	16
Горох, сорт Рокет	20	25	27
		17,5	77
Редис, сорт Розово-красный с белым кончиком	40	25	43
		17,5	99
	100	25	58
		17,5	130

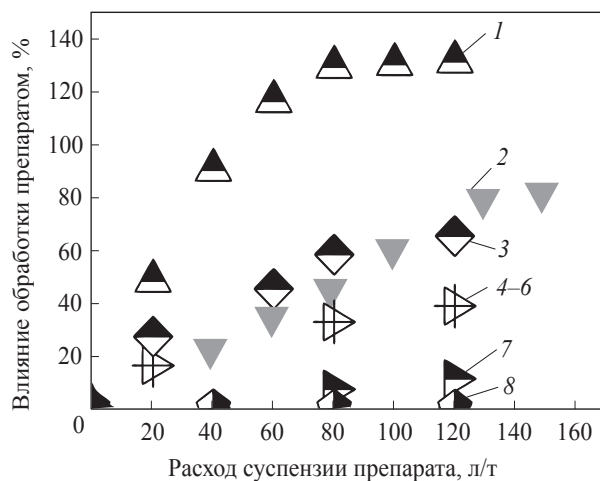


Рис. 1. Влияние расхода препарата на основе АДД на эффективность его применения для семян различных овощных культур: 1 — редис; 2 — морковь; 3 — огурец; 4 — шпинат; 5 — петрушка листовая; 6 — патиссоны; 7 — кресс-салат; 8 — свекла

Fig. 1. The influence of ADA-based drug consumption on the effectiveness of its use for seeds of various vegetable crops: 1 — radish; 2 — carrots; 3 — cucumber; 4 — spinach; 5 — leaf parsley; 6 — patissons; 7 — watercress; 8 — beets

Измерение концентрации углекислоты проводили при помощи прибора Testo 535, который позволяет определять концентрацию углекислого газа в газовой смеси при содержании 0—9999 ppm. Принцип работы прибора основан на поглощении лазерного излучения углекислотой, адсорбированной на чувствительной части поверхности зонда. Относительно большая площадь адсорбционной поверхности зонда приводит к усреднению колебаний концентрации углекислоты в сосуде, что заметно снижает ошибку по сравнению с другими методами — отбором газовой смеси из сосуда шприцем и определением концентрации углекислоты в газовой смеси при помощи хроматографа.

## Результаты и обсуждение

На первом этапе исследования были выбраны условия для изучения влияния различных ГК и ГВ на стимуляцию прорастания семян. При этом в качестве препарата, позволяющего сделать наиболее эффективный выбор, использовали комплексный препарат-стимулятор на основе АДД. В предварительных экспериментах было установлено, что подобный подход с переносом соотношения стимулирующих эффектов, полученных на разных культурах для одного стимулятора, на другой стимулятор является достаточно корректным.

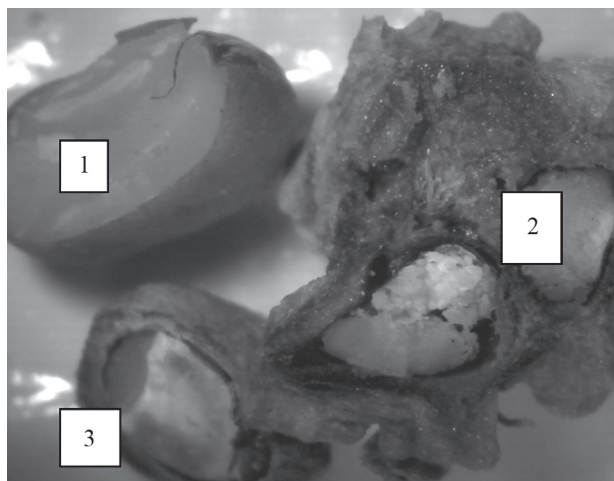


Рис. 2. Внешний вид семян: 1 — редиса; 2 — свеклы; 3 — шпината

Fig. 2. The appearance of seeds: 1 — radishes; 2 — beets; 3 — spinach

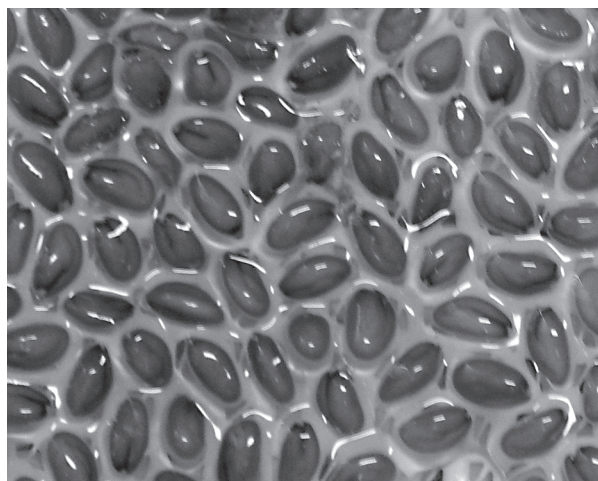


Рис. 3. Семена кресс-салата через несколько минут после нанесения воды на их поверхность

Fig. 3. Watercress Seeds watercress in a few minutes after application on the water surface

При выборе условий исходили из того, что максимальное влияние на стимуляцию оказывает влажность используемого для посева семян субстрата. Из полученных данных хорошо видно, что для всех изученных культур, максимальный эффект стимуляции наблюдается при низкой влажности субстрата (таблица).

В связи с этим дальнейшие исследования проводили при влажности субстрата 17,5 %. Результаты свидетельствуют о том, что максимальные эффекты стимуляции наблюдаются для некоторых овощных культур при расходах, заметно превышающих расход при полусухой обработке семян, применяемой в сельском хозяйстве (10...20 л/т). Этот вопрос был подробно изучен для ряда овощных культур.

Из полученных данных следует, что при увеличении расхода суспензии препарата наблюдается рост выделения углекислоты (рис. 1), который сопровождается ускорением развития семян. Хорошо видно, что максимальный эффект отмечается для редиса и перестает возрастать при расходе раствора препарата 100 л/т. При этом прослеживается закономерность влияния размера семян на величину оптимального расхода — чем мельче семена, тем больше расход препарата.

Однако ряд семян нарушают эту закономерность: шпинат и свекла по сравнению с редисом и кресс-салат по сравнению с морковью. Семена этих культур сравнимы по размеру, но расход при достижении максимума и значение максимума сильно различаются. Представленная фотография семян редиса, шпината и свеклы (рис. 2) объясняет эти различия. Хорошо видно, что семена шпината представляют собой оре-

шек, окруженный толстой оболочкой, препятствующей поступлению стимуляторов в семена.

Семена свеклы имеют прочную жесткую оболочку, которая рассчитана на защиту от жаркого климата. Она плохо пропускает влагу, защищая расположенное внутри хрупкое семя от пересыхания и гибели. Кроме того, у семян свеклы имеются и другие особенности — они представляют собой не единичный зародыш, а целую группу. В семени свеклы, которое фактически является соплодием, может насчитываться от 1 до 10 отдельных будущих растений. Наличие оболочки характерно также для семян кресс-салата, но это гелевая оболочка (слизь), которая образуется на семенах при их контакте с водой. Хорошо видно, что слизь, набухая на поверхности семян, обладает механической прочностью и раздвигает семена на расстояние несколько миллиметров (рис. 3). По-видимому, гелевая оболочка (слизь) тоже препятствует поступлению стимуляторов в семена, поэтому, при близких к семенам моркови размерах стимуляторы действуют на семена кресс-салата значительно слабее.

Следовательно, для стимуляции развития семян необходимо отсутствие препятствия для проникновения препаратов-стимуляторов внутрь семян.

Как видно из представленных данных, максимальный эффект стимуляции наблюдается для семян редиса. При этом необходимо отметить, что сравнение скорости биохимических процессов в семенах проводили по отношению к сухим семенам, но столь большой расход раствора (100 л/т) требовал проверки влияния расхода воды на развитие семян (рис. 4).

Результаты подтвердили большое влияние воды на величину наблюдаемого эффекта. При

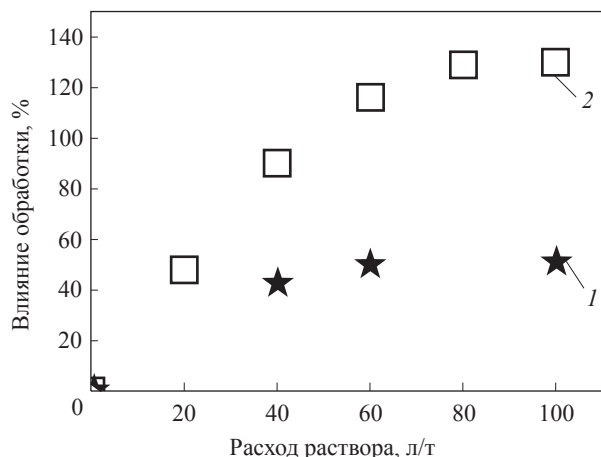


Рис. 4. Влияние расхода воды (1) и комплексного препарата (2) при предпосевной обработке семян редиса на развитие семян

Fig. 4. The influence of water discharge (1) and complex preparation (2) with presowing treatment of radish seeds for their development

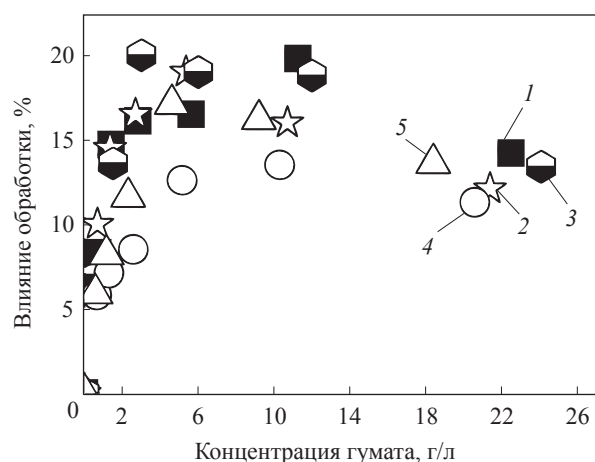


Рис. 5. Эффективность гуматов, приготовленных из гуминовых кислот различного происхождения, источники: 1 — торф Олайнского завода химреактивов; 2 — торфа фирмы «Мерк»; 3 — чернозем обыкновенный; 4 — белопodzolistая почва; 5 — бурый выветрелый уголь

Fig. 5. Efficiency of humates prepared from humic acids of various origin, sources: 1 — peat of the Olaine Chemical Reagents Plant; 2 — peat firm «Merck»; 3 — chernozem ordinary; 4 — white podzolic soil; 5 — brown weathered coal

этом различие, обусловленное комплексным стимулятором, оказалась достаточно велико, чтобы можно было изучать влияние биологической активности ГВ на развитие семян редиса.

Таким образом, на основании полученных данных были выбраны культура — редис и расход раствора препарата для обработки семян — 100 л/т.

Из полученных зависимостей (рис. 5) влияния предпосевной обработки семян редиса (сорт Розово-красный с белым кончиком) растворами

гуматов различного происхождения от концентрации гуматов следует:

1) все изученные гуматы (за исключением гуматов, полученных из ГК белопodzolistой почвы) по влиянию на посевные качества семян практически не отличаются друг от друга;

2) гуматы, полученные из ГК белопodzolistой почвы, оказывают меньшее (примерно на 20...30 %) стимулирующее действие на семена по сравнению с остальными гуматами;

3) графики зависимости влияния обработки от концентрации раствора для всех гуматов выглядят похоже — резкий, практически линейный рост при увеличении концентрации с выходом на максимум и последующим плавным снижением эффекта при дальнейшем увеличении концентрации;

4) никакого угнетения при использовании достаточно больших концентраций гуматов, описываемого в литературе, ни для одного образца гуматов не обнаружено.

Таким образом, по биологической активности из общего ряда гуматов, полученных из ГК, выпадали только ГК белопodzolistой почвы. Было интересно сравнить химические и физико-химические свойства ГК, выделенных из подобных объектов, и выяснить, не отличаются ли значимо ГК из podzolistых почв по каким-либо свойствам от других ГК.

В работе [6] были изучены различные свойства гуминовых кислот, выделенных из чернозема (ГК<sub>ч</sub>), торфа (ГК<sub>т</sub>), бурого угля (ГК<sub>б</sub>) и дерново-podzolistой почвы (ГК<sub>п</sub>): элементный состав, оптические показатели в видимой области, ИК-спектры, молекулярно-массовое распределение на геле Сефадекс G-100, общее содержание функциональных групп. Было проведено также потенциометрическое титрование.

Для ГК<sub>б</sub> характерно по сравнению с почвенными ГК низкое содержание азота, а ГК<sub>п</sub> по соотношениям Н:С; О:С и С:Н из общего ряда не выпадали. Коэффициенты экстинкции возрастали от дерново-podzolistой почвы к чернозему. Рисунок ИК-спектров однотипен и содержит характерные для ГК полосы поглощения. При этом интенсивность полосы при 1620 см<sup>-1</sup>, характеризующей ароматические связи, уменьшается от ГК<sub>ч</sub> к ГК<sub>п</sub>. Следовательно, наименьшее количество ароматических компонентов обнаружено в ГК из дерново-podzolistой почвы.

При изучении молекулярно-массового распределения установлено, что все препараты сходны по числу фракций и значениям средних молекулярных масс, но различаются по характеру распределения. Наименее полидисперсны и в среднем низкомолекулярны ГК из чернозема и торфа. Больших различий между ГК<sub>б</sub> и ГК<sub>п</sub> по этому свойству не наблюдается.

Общее содержание функциональных групп, определенное по методу А.Ф. Драгуновой, для ГК<sub>п</sub> несколько ниже, а содержание карбоксильных и фенольных групп не выпадает из общего ряда почв.

Из данных потенциометрического титрования следует, что изученные препараты ГК близки друг к другу по своим кислотно-основным свойствам.

Итак, основное отличие ГК<sub>п</sub> от других ГК состоит в меньшем содержании ароматических компонентов. Однако попытка объяснения снижения биологической активности ГК уменьшением содержания в них ароматических компонентов вступает в противоречие с предположением Д.С. Орлова [13] о влиянии на биологическую активность ГВ, в первую очередь — свободных функциональных групп.

Для получения дополнительной информации было изучено влияние обработки семян препаратами на основе ГВ, выделенных из верхового и низинного торфов. Предполагали, что дополнительное содержание в препарате фульвокислот и неспецифических веществ гумуса, включающих в свой состав аминокислоты и сахара, повысит биологическую активность препарата [24, 25]. Однако полученные для этих образцов данные свидетельствовали о практически полном отсутствии стимулирующего эффекта.

Таким образом, гуматы, приготовленные из ГК торфов, обладают достаточно высокой биологической активностью, а появление в составе препаратов других ГВ и неспецифических веществ гумуса приводит к ее снижению. При этом повышение концентрации препаратов (если воспринимать другие ГВ и неспецифические вещества гумуса в качестве балласта) не приводит к усилению эффекта. Следовательно, наличие этих веществ в препаратах по каким-то причинам не позволяет биологической активности, которой обладают ГК, проявляться.

Возможны два объяснения подобного ингибирования биологической активности ГК.

1. В состав неспецифических веществ гумуса входят ингибиторы развития семян. Однако в этом случае надо принять, что почва ингибирует развитие семян, чего на практике не наблюдается. Добавление к семенам вместо воды почвенных вытяжек не приводит к замедлению их развития.

2. Активность ГК связана не с выделением — передачей каких-то биологически активных веществ-стимуляторов из ГК семенам, а с поглощением из семян ингибиторов процесса их развития.

Подобный механизм активации вполне возможен. Во-первых, для ускорения химической

реакции всегда есть два пути — добавление катализатора и удаление из системы ингибитора, снижающего активность реагентов. Во-вторых, мы имеем дело с биологическими системами, в которых всегда присутствуют и вещества, активирующие протекание биохимических реакций, и вещества, ингибирующие их. По современным представлениям, рост семян регулируется балансом фитогормонов, в число которых входят ауксины, гиббереллины, цитокинины (активаторы биохимических реакций), этилен и абсцизовая кислота (ингибиторы биохимических реакций). При этом ведущая роль в прорастании семян принадлежит гиббереллинам, а абсцизовая кислота выполняет задерживающую функцию [11]. В результате ускорение процессов развития семян с позиций управления химическими реакциями может быть связано не с повышением концентрации активаторов, что более привычно, а со снижением концентрации (точнее, активности) ингибиторов.

С этих позиций легко объяснить снижение биологической активности ГК при уменьшении содержания в них ароматических компонентов, так как оно может негативно влиять на закрепление в ГК ингибиторов.

Необходимо отметить, что подобную трактовку физиологической активности ГВ уже предлагали ранее для объяснения снятия ГВ угнетения синтеза ДНК экзогенными ингибиторами [2, 4].

Рассмотрение биологической активности ГВ с позиций сорбции ингибиторов биохимических реакций позволяет понять природу некоторых известных ранее эффектов. В частности, наличие биологической активности для ГВ при поливе их экстрактами растений, произрастающих в почвах (в которых содержание подобных же ГВ на 4–6 порядков выше), хорошо объясняется отсутствием свободных, активных для поглощения ингибиторов, центров в ГК, находящихся в почвах. Становится понятен широкий спектр биологической активности ГВ при их воздействии на растения при обработке семян и корней, поливе под корень и при обработке по листу вегетирующих растений. Механизмы процессов развития этих частей растений стимулируются разными фитогормонами [9], и трудно предположить их замену в биохимических реакциях гумусовыми веществами, но сорбция ГВ ингибиторов из растений хорошо объясняет их широкий спектр действия.

Таким образом, предположение о биологической активности у ГВ за счет поглощения молекул — ингибиторов биохимических процессов позволяет объяснить полученные нами данные и известные ранее результаты.

Из выдвинутого предположения автоматически вытекает наличие у ГВ свободных активных

центров для связывания молекул-ингибиторов. Если центры связывания заняты, то поглощение ингибиторов гумусовыми веществами становится невозможным и биологическая активность у них должна отсутствовать. Следовательно, речь может идти не вообще о биологической активности любых ГВ, а только о биологической активности подготовленных специальным образом ГВ, когда освобождены их активные центры для связывания молекул — ингибиторов биохимических процессов. Из этого следует вывод о большом влиянии технологических режимов при получении препаратов на основе ГВ, так как даже препараты, полученные из одного сырья, но по разным технологиям, могут иметь разную биологическую активность.

Предположение о появлении биологической активности у ГВ за счет освобождения их активных центров при приготовлении препаратов на их основе ранее уже выдвигалось Д.С. Орловым [13], но касалось освобождения функциональных групп. При этом высокая сорбционная способность ГВ по отношению к органическим токсикантам хорошо известна и уже давно и активно используется при применении ГВ для детоксикации почв или при проведении обработок посевов гербицидами в смеси с препаратами ГВ для снижения негативного влияния на культурные растения.

Следует отметить, что данное объяснение хорошо согласуется с развиваемой в настоящее время концепцией супрамолекулярной природы ГВ [26–28], согласно которой низкомолекулярные вещества, встраивающиеся в ГВ, должны им соответствовать по принципу «ключ–замок». Для таких систем вполне корректно выглядит предположение о существовании активных центров, способных селективно связывать ингибиторы биохимических процессов.

Однако попытка объяснения биологической активности применения ГВ для стимуляции развития семян с позиции их способности к сорбции ингибиторов биохимических процессов из биологических объектов требовала уточнения, так как был не вполне понятен биологический объект, на который влияют ГВ при обработке их растворами семян. Связано это с тем, что многоклеточные биологические объекты представляют собой суперорганизмы, *жизнедеятельность и эволюция которых происходит только на основе взаимовыгодной интеграции с другими живыми существами (преимущественно микроорганизмами)* [14, 15, 17]. В результате стимуляция развития семян является не двухстадийным процессом (стимулятор — семена), а трехстадийным (стимулятор — эндофитные микроорганизмы семян — семена) [22]. Как следствие, ГВ при

воздействии на семена могут влиять непосредственно как на сами семена, так и на эндофитные микроорганизмы, обуславливая через ускорение их развития стимуляцию развития семян. Последний вариант является весьма вероятным, так как хорошо объясняет повышение привесов в животноводстве и птицеводстве при добавлении в корма ГВ их действием на микрофлору пищеварительного тракта [2].

Попытаемся, используя полученные нами результаты, ответить на вопрос о направлении действия ГК при обработке ими семян.

Из представленных данных (см. рис. 5) хорошо видно, что после резкого подъема эффективности при увеличении концентрации гуматов из ГК до примерно равного для разных ГК уровня наблюдается плавное ее снижение. Если принять, что гуматы из ГК взаимодействуют только (преимущественно) с ингибиторами биохимических реакций из растений, например с абсцизовой кислотой [9, 11, 12], не оказывая влияния на эндофитные микроорганизмы, то не совсем понятна причина прекращения роста эффективности при увеличении их концентрации. Подобное возможно при достижении максимума эффективности за счет поглощения гуматами из ГК всех ингибиторов из семян. Однако, как показали эксперименты, эффективность не достигает максимально возможного значения, так как добавление к гуматам из ГК гиббереллинов, снижающих концентрацию и влияние ингибиторов [21], усиливает эффект стимуляции гуматами примерно на 30...35 %.

Рассмотрение действия гуматов из ГК с позиций их влияния в первую очередь на эндофитные микроорганизмы лучше объясняет полученные экспериментальные результаты. В этом случае достаточно допустить, что гуматы из ГК поглощают соединения, мешающие быстрому росту эндофитов, например либо оказывающие влияние на проницаемость их мембран [2, 8], поглощают вещества, угнетающие синтез ДНК или другим способом воздействующие на развитие эндофитов [2]. Прекращение роста влияния гуматов из ГК при увеличении концентрации выше определенного предела свидетельствует о выходе процесса развития микроорганизмов на максимально возможный в этих условиях уровень, когда лимитирующим становится другой фактор, например наличие питательных веществ. Повышение скорости биохимических процессов в семенах при введении гиббереллинов не противоречит подобному объяснению, а снижение эффективности при дальнейшем росте концентрации гуматов из ГК может быть связано с сорбцией ими и уменьшением доступности питательных веществ, необходимых для роста микроорганизмов.



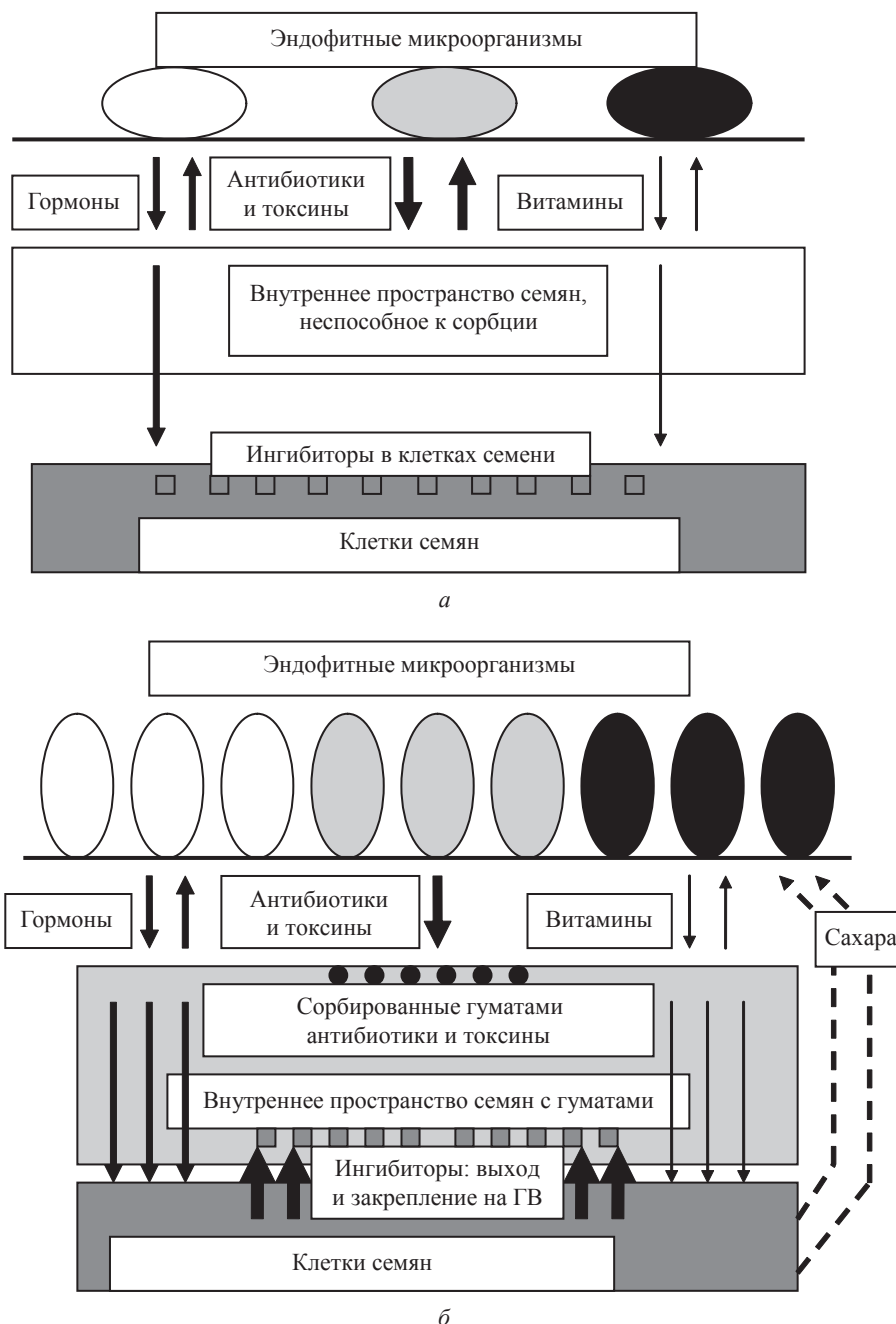


Рис. 6. Схема проходящих при прорастании семян процессов: *a* — при отсутствии в них ГВ; *б* — наличии в них ГВ  
 Fig. 6. The scheme of processes occurring during the germination of seeds: *a* — in the absence of GW in them; *b* — presence of GW in them

Однако нельзя исключать, что стимуляция семян связана с влиянием гуматов из ГК на биохимические процессы как в эндифитных микроорганизмах, так и в самих семенах.

Представленная схема (рис. 6) поясняет наши представления о процессах, происходящих в семени во время его прорастания, при отсутствии (рис. 6, *a*) и при наличии (рис. 6, *б*) в нем ГВ.

Логично предположить, что внутри семени присутствуют разные микроорганизмы (грибы, дрожжи, бактерии), которые выделяют гормоны и витамины, а также антибиотики и токсины [16].

Гормоны могут стимулировать развитие как микроорганизмов, так и семян, а антибиотики и токсины угнетают развитие микроорганизмов других видов. Повышение концентрации антибиотиков и токсинов внутри семени приводит к замедлению развития микроорганизмов (роста их числа и активности), и, как следствие, концентрация гормонов и антибиотиков в семени растет относительно медленно. В результате уменьшается влияние гормонов микроорганизмов на развитие семени. Также в семени присутствуют ингибиторы прораста-

ния (АБК), которые могут «уходить» из семени только под влиянием гормонов (гиббереллиновой кислоты). В результате процессы развития семян происходят с относительно низкой скоростью.

Наличие в семенах ГВ с их высокой сорбционной способностью приводит к закреплению на ГВ антибиотиков и токсинов и снижению их активности антибиотиков и токсинов. В результате ускоряются процессы развития микроорганизмов и повышается количество выделяемых ими гормонов и витаминов. Кроме того, ингибиторы развития семян тоже поглощаются ГВ, что ускоряет их развитие.

Данная схема является только предположительной, но в любом случае от попыток объяснить биологическую активность ГВ их действием только на семена (растения), которые доминируют в литературе в настоящее время, необходимо переходить к рассмотрению действия ГВ на всю систему в целом, включающую сами семена (растения) и их эндофитные и эпифитные микроорганизмы.

## Выводы

1. Установлено, что эффекты стимуляции прорастания семян лучше изучать при низкой влажности почвоимитирующего субстрата на семенах редиса.

2. Показано, что наличие препятствий для проникновения препаратов-стимуляторов внутрь семян ограничивает их действие.

3. Установлено, растворы гуматов для обработки семян приготовленных из гуминовых кислот различного происхождения, почти не различаются по эффективности. Несколько меньшая эффективность свойственна препаратам из ГК, выделенных из белоподзолистой почвы.

4. Из литературы следует, что основной особенностью ГК, выделенных из подзолистых почв, меньшее содержание в их составе ароматических компонентов.

5. Показано, что препараты на основе ГВ, выделенных из торфа, в состав которых кроме ГВ входят и неспецифические вещества гумуса, обладают очень низкой биологической активностью.

6. Выдвинуто предположение о том, что биологическая активность ГВ связана с их способностью избирательно поглощать из биологических объектов ингибиторы биохимических реакций.

7. Из анализа полученных данных следует, что влияние ГВ на развитие семян осуществляется, вероятнее всего, через стимулирующее воздействие на эндофитные микроорганизмы и биохимические процессы в самих семенах.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ.

## Список литературы

- [1] Александрова И.В. О физиологической активности гумусовых веществ и продуктов их метаболизма. Органическое вещество целинных и освоенных почв. М.: Наука, 1972. С. 30–69.
- [2] Безуглова О.С. Гуминовые вещества в биосфере: учеб. пособие. Ростов-н/Д: Южный федеральный ун-т, 2009. 120 с.
- [3] Ваксман С. Гумус. Происхождение, состав и значение его в природе. М.: СЕЛЬХОЗГИЗ, 1937. 472 с.
- [4] Горвая А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества: строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль. Киев: Наукова думка, 1995. 303 с.
- [5] Дмитриев А.М., Страцкевич Л.К. Стимуляция роста растений / под ред. Н.Ф. Батыгина. Минск: Ураджай, 1986. 118 с.
- [6] Заварзина А.Г., Демин В.В. Кислотно-основные свойства гуминовых кислот различного происхождения по данным потенциометрического титрования // Почвоведение, 1999. № 10. С. 1246–1254.
- [7] Кононова М.М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.
- [8] Мажуль В.М., Прокопова Ж.В., Ивашкевич Л.С. Механизм действия гуминовых препаратов из торфа на структурное состояние мембран и функциональную активность дрожжевых клеток / Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 151–157.
- [9] Муромцев Г.С., Чкаников Д.И., Кулаева О.Н., Гамбург К.З. Основы химической регуляции роста и продуктивности растений. М.: Агропромиздат, 1987. 383 с.
- [10] Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 347 с.
- [11] Обручева Н.В. Прорастание семян / В кн. Физиология семян. М.: Наука, 1982. С. 223–274.
- [12] Овчаров К.Е. Физиология формирования и прорастания семян. М.: Колос, 1976. 256 с.
- [13] Орлов Д.С. Свойства и функции гуминовых веществ / В кн. Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 16–27.
- [14] Проворов Н.А. Растительно-микробные симбиозы как эволюционный континуум // Журнал общей биологии, 2009. Т. 70. № 1. С. 10–34.
- [15] Проворов Н.А., Долгих Е.А. Метаболическая интеграция организмов в системах симбиоза // Журнал общей биологии, 2006. Т. 67. № 6. С. 403–422.
- [16] Руссель С. Микроорганизмы и жизнь почвы. М.: Колос, 1977. 224 с.
- [17] Савинов А.Б. Аутоценоз и деоценоз как симбиотические системы и биологические категории // Журнал общей биологии, 2012. Т. 73. № 4. С. 284–301.
- [18] Экология семян пшеницы / Л.К. Сечняк, Н.А. Киндрук, О.К. Слюсаренко, В.Г. Иващенко, Е.Д. Кузнецов. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [19] Соромотина Т.В. Практикум по овощеводству. Пермь: Прокрость, 2016. 305 с.
- [20] Тюрин И.В. Органическое вещество и его роль в почвообразовании и плодородии. М.; Л.: Сельхозгиз, 1937. 287 с.
- [21] Уолтон Д.С. Абсцизовая кислота / В кн.: Физиология и биохимия покоя и прорастания семян; пер. с англ. Н.А. Аскоченской, Н.А. Гумилевской, Е.П. Заверткиной,

- Э.Е. Хавкина; под ред. М.Г. Николаевой, Н.В. Обручевой. М.: Колос, 1982. С. 170–183.
- [22] Почвенные дрожжи и их роль в прорастании семян / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба, М.Ф. Федотова, А.Л. Степанов, Р.А. Стрелецкий // Почвоведение, 2017. № 5. С. 592–602.
- [23] Христева Л.А. О природе действия физиологически активных форм гуминовых кислот и других стимуляторов роста растений. Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. Ч. 3. С. 13–28.
- [24] Царева Р.И. Химизм торфяной почвы. Минск: Наука и техника, 1976. 192 с.
- [25] Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants // *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, v. 34, no. 11, pp. 1527–1536.
- [26] Piccolo A. The Supramolecular Structure of Humic Substances // *Soil Science*, 2001, 166 (11), pp. 810-832.
- [27] Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics // *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 2006, no. 169, pp. 145–156.
- [28] Sutton R, Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: The new view // *Environmental Science and Technology*, 2005, no. 39, pp. 9009–9015.

## Сведения об авторах

**Федотов Геннадий Николаевич** — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, e-mail: [gennadiy.fedotov@gmail.com](mailto:gennadiy.fedotov@gmail.com)

**Федотова Магдалина Федоровна** — специалист факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, e-mail: [gennadiy.fedotov@gmail.com](mailto:gennadiy.fedotov@gmail.com)

**Шалаев Валентин Сергеевич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: [shalaev@mgul.ac.ru](mailto:shalaev@mgul.ac.ru)

**Батырев Юрий Павлович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: [batyrev@mgul.ac.ru](mailto:batyrev@mgul.ac.ru)

Статья поступила в редакцию 16.12.2016 г.

## BIOLOGICAL ACTIVITY OF HUMIC SUBSTANCES AND THEIR INFLUENCE ON THE SEED PROPERTIES

G.N. Fedotov<sup>1</sup>, M.F. Fedotova<sup>1</sup>, V.S. Shalaev<sup>2</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University (MSU), Institute of Ecology Soil Science, MSU, GSP-1, Leninskiye Gory, 1-12, 119991, Moscow, Russia,

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

[gennadiy.fedotov@gmail.com](mailto:gennadiy.fedotov@gmail.com)

To research the effect of seed germination stimulation the influence of humates prepared with humic acid of different origin has been studied. It is shown that the efficiency of humate stimulation of different origine used to treat seeds differs slightly. Somewhat lower efficiency is typical of the drugs produced from humic acids of ash grey soils (podzols) which differ from the humic acids of another origine, having less amount of aromatic components in its composition. It has been stated that drugs based on peat humic substances, comprising some non-specific humus substances in addition to humic substances, possess biological activity which is much lower as compared to the biological activity of humates of peat humic acids. Based on the obtained data, it has been suggested that the biological activity of humic acids is related to their ability to selectively absorb biochemical reaction inhibitors from biological objects by active parts of humic acids which are free for the sorption, and the influence of humic acids on the development of seeds is carried out through a stimulating effect on endophytic microorganisms and biochemical processes in the seeds. In this regard, it is necessary to proceed from the attempts to explain the biological activity of humic substances in their effect on seeds (plants) only to considering the humic substance influence on the system as a whole, including the seeds themselves (plants) and their endophytic and epiphytic microorganisms.

**Key words:** pre-sowing treatment of seeds, the increase of seed sowing qualities, endophytic microorganisms, humic substance sorption of biochemical process inhibitors

**Suggested citation:** Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Biologicheskaya aktivnost' gumusovykh veshchestv i ikh vliyanie na svoystva semyan* [Biological activity of humic substances and their influence on the seed properties]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 26–36. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-26-36

## References

- [1] Aleksandrova I.V. *O fiziologicheskoy aktivnosti gumusovykh veshchestv i produktov ikh metabolizma* [About the physiological activity of humic substances and products of their metabolism] *Organicheskoe veshchestvo tselinnykh i osvoennykh pochv* [Organic matter of virgin and cultivated soils]. Moscow, 1972, pp. 30-69. (in Russian)
- [2] Bezuglova O.S. *Guminovye veshchestva v biosphere* [Humic substances in the biosphere]. Rostov-na-Donu: Yuzhniy federal'niy un-t Publ., 2009, 120 p. (in Russian)

- [3] Vaksman S. *Gumus. Proiskhozhdenie, sostav i znachenie ego v prirode* [Origin, composition and its importance in nature]. Moscow, 1937, 472 p. (in Russian)
- [4] Gorovaya A.I., Orlov D.S., Shcherbenko O.V. *Guminovye veshchestva: stroenie, funktsii, mekhanizm deystviya, protekturnyye svoystva, ekologicheskaya rol'* [Humic substances: structure, function, mechanism of action, protective properties, biological role]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1995, 303 p. (in Russian)
- [5] Dmitriev A.M., Stratskevich L.K. *Stimulyatsiya rosta rasteniy* [Stimulation of plant growth]. Minsk: Uradzhay Publ., 1986, 118 p. (in Russian)
- [6] Zavarzina A.G., Demin V.V. *Kislotno-osnovnye svoystva guminovykh kislot razlichnogo proiskhozhdeniya po dannym potentsiometricheskogo titrovaniya* [The acid-base properties of humic acids of various origin based on potentiometric titration] *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. 1999, no. 10, pp. 1246-1254. (in Russian)
- [7] Kononova M.M. *Organicheskoe veshchestvo pochvy, ego priroda, svoystva i metody izu-cheniya* [Soil organic matter, its nature, properties, and methods of study]. Moscow: AN USSR Publ., 1963, 315 p. (in Russian)
- [8] Mazhul' V.M., Prokopova Zh.V., Ivshkevich L.S. *Mekhanizm deystviya guminovykh pre-paratov iz torfa na strukturnoe sostoyanie membran i funktsional'nyu aktivnost' drozhzhevykh kletok* [The mechanism of action of humic substances of peat on the structural condition of the membranes and the functional activity of the yeast cells] *Guminovye veshchestva v biosfere* [Humic substances in the biosphere]. Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 151-157. (in Russian)
- [9] Muromtsev G.S., Chkanikov D.I., Kulaeva O.N., Gamburg K.Z. *Osnovy khimicheskoy re-gulyatsii rosta i produktivnosti rasteniy* [Fundamentals of Chemical regulation of growth and productivity of plants]. Moscow: Agropromizdat Publ., 1987, 383 p. (in Russian)
- [10] Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. *Spravochnik po prorashchivaniyu poko-yashchikhsya semyan* [Handbook on germination of dormant seeds]. Leningrad: Nauka Publ., 1985, 347 p. (in Russian)
- [11] Obrucheva N.V. *Prorastanie semyan* [Seed germination]. *Fiziologiya semyan* [Seed physiology]. Moscow: Nauka Publ., 1982, pp. 223-274. (in Russian)
- [12] Ovcharov K.E. *Fiziologiya formirovaniya i prorastaniya semyan* [Physiology formation and germination of seeds]. Moscow: Kolos Publ., 1976, 256 p. (in Russian)
- [13] Orlov D.S. *Svoystva i funktsii guminovykh veshchestv* [Features and functions of humic substances] *Guminovye veshchestva v biosfere* [Humic substances in the biosphere]. Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 16-27. (in Russian)
- [14] Provorov N.A. *Rastitel'no-mikrobnnye simbiozy kak evolyutsionnyy kontinuum* [Plant-microbe symbioses as an evolutionary continuum] *Zhurnal obshechi biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2009, v. 70, no. 1, pp. 10–34. (in Russian)
- [15] Provorov N.A., Dolgikh E.A. *Metabolicheskaya integratsiya organizmov v sistemakh sim-bioza* [Metabolic integration organisms in symbiotic systems] *Zhurnal obshechi biologii* [Biology Bulletin Reviews]. 2006, v. 67, no. 6, pp. 403–422. (in Russian)
- [16] Russel' S. *Mikroorganizmy i zhizn' pochvy* [Microorganisms and soil life]. Moscow: Kolos Publ., 1977, 224 p. (in Russian)
- [17] Savinov A.B. *Autotsenoz i demotsenoz kak simbioticheskie sistemy i biologicheskie kategorii* [Autotsenoz and demotsenoz a symbiotic system and biological category] *Zhurnal obshechi biologii* [Biology Bulletin Reviews], 2012, v. 73, no. 4, pp. 284-301. (in Russian)
- [18] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology wheat seeds]. Moscow: Kolos Publ., 1983, 349 p. (in Russian)
- [19] Soromotina T.V. *Praktikum po ovoshchevodstvu* [Workshop on Vegetable]. Perm': Prokrost' Publ., 2016, 305 p. (in Russian)
- [20] Tyurin I.V. *Organicheskoe veshchestvo i ego rol' v pochvoobrazovanii i plodorodii* [Organic matter and its role in soil formation and fertility]. Moscow: Sel'khozgiz Publ., 1937, 287 p. (in Russian)
- [21] Uolton D.S. *Abstsizovaya kislota* [Abscisic acid] *Fiziologiya i biokhimiya pokoya i prorastaniya semyan* [Physiology and biochemistry of dormancy and germination of seeds] Moscow: Kolos Publ., 1982, pp. 170-183. (in Russian)
- [22] Fedotov G.N., Shoba S.A., Fedotova M.F., Stepanov A.L., Streletskiy R.A. *Pochvennyye drozhzhi i ikh rol' v prorastanii semyan* [Soil yeast and their role in germination of seeds] *Pochvovedenie*, 2017, № 5. pp. 592–602. (in Russian)
- [23] Khristeva L.A. *O prirode deystviya fiziologicheskii aktivnykh form guminovykh kislot i drugikh stimulyatorov rosta rasteniy* [On the nature of physiologically active form of humic acid and other plant growth stimulants] *Guminovye udobreniya. Teoriya i praktika ikh primeneniya* [Humic fertilizer. Theory and practice of their application]. Kiev, 1968, part. 3. pp. 13-28. (in Russian)
- [24] Tsareva R.I. *Khimiya torfyanykh pochvy* [The chemistry of peat soil]. Minsk: Nauka i tekhnika Publ., 1976, 192 p. (in Russian)
- [25] Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. *Physiological effects of humic sub-stances on higher plants* [Effects of Fisiologikal of-numik substanses he nizhner Plants] *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, v. 34, no. 11, pp. 1527-1536. (in Russian)
- [26] Piccolo A. The Supramolecular Structure of Humic Substances. *Soil Science*, 2001, v. 166(11), pp. 810-832.
- [27] Schaumann G.E. Review Article Soil organic matter beyond molecular structure Part I: Macromolecular and supramolecular characteristics. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*. 2006, 169, pp. 145-156.
- [28] Sutton R, Sposito G. Molecular structure in soil humic substances: The new view. *En-vironmental Science and Technology*. 2005, v. 39, pp. 9009-9015.

## Author's information

**Fedotov Gennadiy Nikolaevich** — Dr. Sci. (Biol.) Senior Researcher, Lomonosov Moscow State University, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

**Fedotova Magdalina Fedorovna** — Researcher, Lomonosov Moscow State University, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

**Shalaev Valentin Sergeevich** — Dr. Sci. (Tech.) Professor, BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: shalaev@mgul.ac.ru

**Batyrev Yuriy Pavlovich** — Cand. Sci. (Tech.) Assoc. Prof., BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: batyrev@mgul.ac.ru

Received 16.12.2016

## ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГУМИНОВЫХ ПРЕПАРАТОВ ДЛЯ ПРЕДПОСЕВНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЯН

Г.Н. Федотов<sup>1</sup>, М.Ф. Федотова<sup>1</sup>, В.С. Шалаев<sup>2</sup>, Ю.П. Батырев<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», 119991, г. Москва, ГСП-1, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, Институт экологического почвоведения, МГУ

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

Изучалось влияние стимулирующей обработки семян редиса несколькими гуминовыми и негуминовыми препаратами различных российских производителей. Показано, что оптимальными свойствами обладает гумат производства ООО НВЦ «Агротехнологии». Попытка повышения биологической активности этого гумата за счет увеличения числа активных центров гумусовых веществ (для адсорбции ингибиторов прорастания семян) путем воздействия различных физических и физико-химических факторов на сам препарат и его растворы не дала положительных результатов. Показано, что эффективность применения для обработки семян растворов гумата производства ООО НВЦ «Агротехнологии» совместно с биологически активными веществами и гормонами роста увеличивается только в случае использования в качестве добавок к гумату гиббереллинов. Экспериментально подтверждена возможность совершенствования препаратов-стимуляторов, применяемых для обработки семян при помощи методики, основанной на выделении семенами при прорастании углекислоты.

**Ключевые слова:** повышение посевных качеств семян, гуминовые препараты, добавки биологически активных веществ, стимулирующая обработка семян

**Ссылка для цитирования:** Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Повышение эффективности применения гуминовых препаратов для предпосевной обработки семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 37–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-37-44

Гумусовые вещества (ГВ) — главный компонент органического вещества почв, который является предметом исследования не только почвоведения и сельскохозяйственных наук, таких как, химия почв, физика почв, биология почв, физиология растений и др., но и ряда естественнонаучных дисциплин [1–19]. Причина заключается в многофункциональной роли, которую способны выполнять ГВ, значительно улучшая рост растений [1–3, 5, 12, 15]. В литературе отмечается положительное влияние ГВ на развитие семян (при их предпосевной обработке или при внесении ГВ в бедные почвы), укоренение черенков, корнеобразование и развитие растений в целом (повышение урожайности и качества продукции).

Выдвигают различные гипотезы о механизме биологической активности ГВ [2, 4, 6, 13, 16, 18, 19]: влияние на проницаемость клеточных мембран, в первую очередь для нитрат-ионов, на увеличение доступности в почвах элементов питания за счет их комплексования гумусовыми веществами и повышения подвижности, на дыхательный метаболизм и фотосинтез, на передачу растениям гормонов роста от микроорганизмов и т. д. [2, 4, 6, 12]. Кроме того, не исключают и косвенное влияние ГВ через повышение эффективности поглощения растениями удобрений и улучшение структуры почвы.

В работе [12] было выдвинуто предположение о том, что биологическая активность ГВ связана с их способностью сорбировать ингибито-

ры, замедляющие развитие семян и эндофитной микрофлоры. На основании этого был сделан вывод о возможном влиянии на биологическую активность ГВ количества в них активных центров, свободных для адсорбции ингибиторов.

В настоящий момент назрела острая необходимость повысить эффективность стимулирующей обработки растений (и, в частности, семян), и воспроизводимость получаемых положительных результатов. Цель работы — поиск методов увеличения эффективности использования гуматов для предпосевной обработки семян.

Из поставленной цели вытекают следующие задачи:

— на небольшом числе образцов провести выбор имеющегося на рынке стимулирующих препаратов гумата, обладающего максимальной биологической активностью, для отработки на нем способов повышения эффективности применения гуминовых препаратов (фактически на примере выбранного гумата проводится проверка возможности повышения стимулирующей способности препаратов для обработки семян на основе описанной в работе [12] экспресс-методики);

— провести попытку изменения количества сорбционных центров в выбранном гумате и оценить влияние этих изменений на эффективность применения препарата для обработки семян;

— проверить влияние добавок биологически активных веществ к гумату на эффективность его применения для обработки семян.

## Объекты и методы исследования

Использовали семена редиса, сорт Розово-красный с белым кончиком, которые хорошо реагируют на обработку стимуляторами [12].

Почву имитировали влажным окатанным кварцевым песком с размером частиц 0,5...0,8 мм, из месторождения в Рязанской области. Влажность песка составляла 17,5 %, что обеспечивало достаточно высокий стимулирующий эффект [12].

Изучали действие гуматов калия (натрия), произведенных из бурого угля ООО НВЦ «Агротехнологии» (Россия), предприятием «Сахалинские гуматы», ЗАО ТПК «Техноэкспорт» (препарат «Энерген Аква») и ООО НПО «Сила жизни», а также ряда негуминовых препаратов-стимуляторов — «Эмистим Р» и «Экопин».

Была предпринята попытка повлиять на биологическую активность препарата ООО НВЦ «Агротехнологии» путем удаления из него молекул сорбированных веществ и освобождения дополнительного числа активных центров. Для этого препарат кипятили в течение 1 ч в растворителях, в которых он сам практически не растворялся, но могли растворяться сорбированные на активных центрах ГВ молекулы. В качестве таких растворителей использовали бензол, изопропиловый спирт и изопропиловый спирт, содержащий 8 % воды. Гидрофильность растворителей в указанном ряду возрастает, что позволяло обеспечивать переход в них из гуматов органических молекул различной полярности и гидрофильности.

Также для освобождения активных центров ГВ препарат ООО НВЦ «Агротехнологии» прогревался при 105 °С в течение 2 ч и обрабатывался ультразвуком (УЗ) при частоте 22 кГц и амплитуде 55 мкм в течение 5 мин на УЗ-диспергаторе МОД МЭФ 91.1 ООО «МЭЛФИЗ — ультразвук» (Россия).

В качестве добавок для повышения стимулирующей активности гуматов применяли биологически активные вещества — парааминобензойную и арахидоновую кислоты, а также гормоны роста растений — гетероауксин (производства ООО «ПСК «Техноэкспорт», Россия), соли гиббереллиновой кислоты (препарат «Бутон», содержащий 20 мг/г солей гиббереллиновых кислот, производства ЗАО «ТПК «Техноэкспорт», Россия), цитокинин (форхлорфенурон — ФХФ, производства фирмы Farm-Reaching, Китай) и брассиностероиды (0,1 %-ный смачивающийся порошок, производства фирмы Farm-Reaching, Китай).

Семена обрабатывали растворами стимуляторов при расходе 100 л на 1 т семян. Для этого 40 г

семян помещали в пластиковую лодочку площадью 20 × 7 см, глубиной 4 см, добавляли навеску воды (раствора) 4 г и тщательно перемешивали примерно 1 мин до достижения равномерной окраски семян.

Качество стимулирующей обработки определяли по интенсивности выделения углекислоты [12] при контакте семян с влажным песком. Эксперименты проводили, помещая 5 г семян в 2 стаканчика объемом 100 мл, засыпая их 20 г сухого песка, добавляя из пипетки 3,5 г воды так, чтобы вода достаточно равномерно увлажняла песок. После этого стаканчики с семенами ставили в стеклянную емкость объемом 3 л, которую герметично закрывали. Использовали обычные стеклянные трехлитровые банки, закрываемые пластиковыми крышками с отверстиями, в которые плотно мог входить зонд измерителя углекислоты Testo 535. Отверстия в крышках затыкали изнутри резиновыми пробками так, чтобы их можно было выталкивать внутрь банок, вставляя зонд измерителя). Емкости термостатировали при температуре 25 °С в камере, в которую входила 21 емкость. Опыты повторяли 7 раз. В каждой камере один из образцов (7 емкостей) был контрольным, по нему производили пересчет. Емкости в камере располагали в шахматном порядке, чтобы уменьшить влияние неоднородности распределения температуры. С этой же целью в камере располагали вентилятор, перемешивающий воздух. Через 24 ч измеряли концентрацию CO<sub>2</sub> в емкостях и пересчитывали количество выделившегося CO<sub>2</sub> на 1 г семян. При проведении измерения зонд измерителя помещали в емкость на 5 мин до достижения равновесия углекислоты, находящейся в емкости, с углекислотой, адсорбированной на чувствительной части поверхности зонда. Ошибка опыта с вероятностью 95 % не превышала 5 %.

Данная методика дает возможность исследовать в одном опыте от 1000 до 1500 семян зерновых и десятки тысяч мелких семян овощей, что резко уменьшает ошибку экспериментов, связанную с разнокачественностью семян [10].

Измерение концентрации углекислоты проводили при помощи прибора Testo 535, который позволяет определять концентрацию углекислого газа в газовой смеси при содержании 0—9999 ppm. Принцип работы прибора основан на поглощении лазерного излучения углекислотой, адсорбированной на чувствительной части поверхности зонда. Относительно большая площадь адсорбционной поверхности зонда приводит к усреднению колебаний концентрации углекислоты в сосуде, что заметно снижает ошибку по сравнению с другими методами — отбором газовой смеси из сосуда шприцем и определением

концентрации углекислоты в газовой смеси при помощи хроматографа.

Для измерения размера частиц гуматов в растворах использовали анализатор размеров частиц Mastersizer 3000 (Великобритания).

## Результаты и их обсуждение

При изучении эффективности обработки семян редиса растворами промышленно выпускаемых гуматов были получены результаты (рис. 1), которые свидетельствуют, что наилучшими свойствами обладает гумат ООО НВЦ «Агротехнологии».

При использовании этого гумата, как и гуматов предприятия «Сахалинские гуматы» и ООО НПО «Сила жизни», наблюдается быстрый рост эффективности при повышении концентрации препарата до уровня стимуляции свыше 22 %. Однако для последних двух препаратов характерен быстрый спад эффективности стимуляции, а для гумата ООО НВЦ «Агротехнологии» эффективность при повышении концентрации гумата не снижается. Уменьшение эффективности, по-видимому, связано с тем, что в гуматы предприятий «Сахалинские гуматы» и ООО НПО «Сила жизни» добавлены микроэлементы, передозировка которых приводит к отрицательному воздействию на семена, нивелирующему стимуляцию гуматами. В данном случае использование в качестве микроэлементов добавок к препаратам не улучшает действия последних, но значительно усложняет их применение. Связано это с тем, что попасть в узкие области оптимальных концентраций (которые различны у разных культур и у конкретных семян) становится весьма затруднительно. Проводить перед каждым посевом лабораторные эксперименты по определению оптимальной концентрации препарата на практике не представляется возможным. Как следствие, эффективность при использовании этих препаратов может быть достаточно низкой.

Препарат «Энерген Аква» обладает несколько меньшей биологической активностью, которая при росте концентрации препарата в растворе нарастает значительно медленнее и достигает значения, близкого к 20 %, только при высокой концентрации. В связи с тем что значения активности большинства гуматов достаточно близка друг к другу [12], это можно объяснить либо наличием в препарате примерно 75...80 % балласта, не оказывающего стимулирующего влияния на семена, либо недостаточной очисткой активных центров ГВ, ответственных за биологическую активность гуматов, при их получении. В связи с этим данный препарат не может конкурировать с гуматом ООО НВЦ «Агротехнологии» по соотношению «расход/цена».

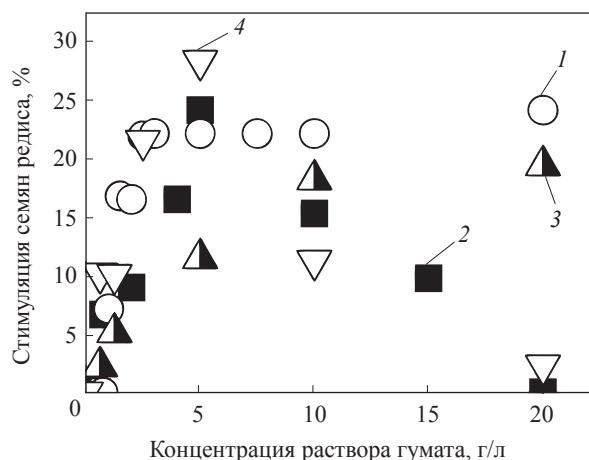


Рис. 1. Влияние обработки семян редиса растворами гуматов из бурого угля разных концентраций на стимуляцию прорастания семян (при расходе 100 л/т): 1 — гумат ООО НВЦ «Агротехнологии»; 2 — гумат предприятия «Сахалинские гуматы»; 3 — препарат «Энерген Аква»; 4 — гумат ООО НПО «Сила жизни»

Fig. 1. The effect of processing radish seeds with solutions of humates from brown coal of different concentrations at a flow rate of 100 liters per ton to stimulate the germination of seeds: 1 — «Agrotechnologii» LLC NEC humate; 2 — the humate of the «Sakhalinskie humates» enterprise; 3 — «Energene Aqua» product; 4 — «Life Force» LLC NPO humate

Сравнение биологической активности гуматов с выпускаемыми промышленностью негуминовыми стимуляторами «Эмистим Р» и «Экопин» показало, что в широком интервале концентраций эффект от их применения для обработки семян не превышает ошибки экспериментов и они не могут конкурировать с рассмотренными выше гуминовыми препаратами.

Была предпринята попытка оказать влияние на биологическую активность гумата ООО НВЦ «Агротехнологии» путем воздействия различными физическими и физико-химическими факторами для освобождения активных центров в ГВ. Однако эксперименты показали, что в результате этих воздействий биологическая активность препарата практически не изменяется (таблица).

Изменяя гидрофильность применяемых растворителей и применяя прогрев — удаляя часть молекул, сорбированных на ГВ, нам не удалось повысить биологическую активность гумата. Скорее, полученные результаты позволяют говорить о тенденции к снижению стимулирующей способности при росте гидрофобности применяемых растворителей, в которых из ГВ при кипячении должны были частично удаляться наиболее гидрофобные молекулы.

Изучение биологической активности раствора гумата ООО НВЦ «Агротехнологии» после пятиминутной УЗ-обработки показало, что из-

**Изменение биологической активности гумата ООО НВЦ «Агротехнологии»  
при воздействии различных факторов, %**

Change in biological activity of humate ООО NEC «Agrotechnologii» under the influence of various factors, %

Концентрация гумата, г/л	Отсутствие воздействия	Кипячение в течение 1 ч			Прогрев при 105 °С
		в бензоле	в ИПС	в ИПС + H <sub>2</sub> O (8 %)	
0,62	5,1	11,7	10,4	9,5	13,7
1,25	11,5	12,1	12,6	19,6	19
2,5	21,8	14,4	19,5	18,4	20,6
5	22,2	16,4	20,4	19,4	21,7
10	21,9	23,5	20,7	17,6	22,1
20	22,9	20,7	23	11	21,5

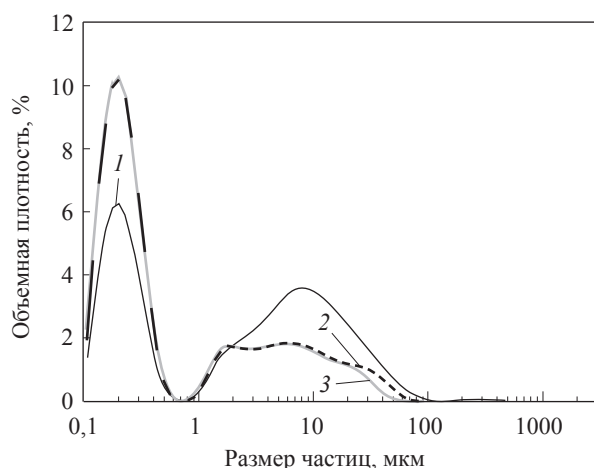


Рис. 2. Распределение частиц по размерам в растворах гумата калия из бурого угля (концентрация 2500 мг/л): 1 — до обработки; 2 — обработанные ультразвуком; 3 — через сутки после УЗ-обработки

Fig. 2. The particle size distribution in solutions of potassium humate from brown coal at a concentration of 2500 mg/l: 1 — before processing; 2 — sonicated; 3 — one day after ultrasound treatment

менения стимуляции прорастания семян по сравнению с не обработанными ультразвуком растворами гуматов не наблюдается. При этом размер частиц ГВ после УЗ-обработки заметно уменьшается и таким и остается во времени (рис. 2).

Можно предположить, что отсутствие влияния роста дисперсности ГВ связано с небольшой долей активных центров, освобождаемых при дезагрегации и уменьшении размера частиц ГВ. При этом значимого изменения структуры первичных частиц ГВ, образующих фрактальные кластеры [17], при УЗ-обработке растворов, по-видимому, не происходит.

При использовании веществ-добавок в растворы гуматов исходили из предполагаемого механизма действия ГВ — «поглощения» ингибиторов биохимических процессов для семян и микроорганизмов [12]. Так как поглощение ин-

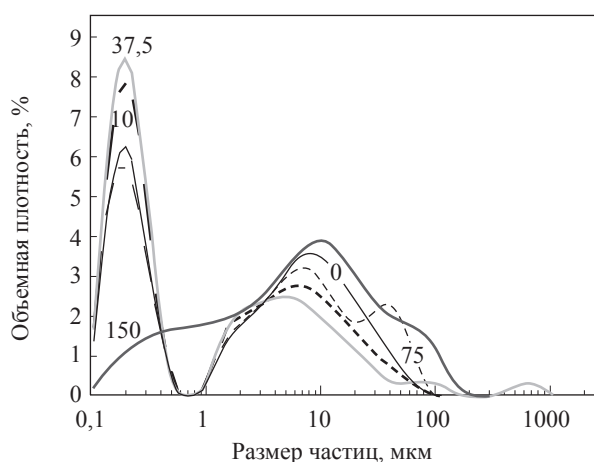


Рис. 3. Распределение частиц по размерам в растворах гумата калия из бурого угля (концентрация 2,5 г/л), приготовленных на воде с различным содержанием ионов кальция (мг/л)

Fig. 3. The particle size distribution in solutions of potassium humate from brown coal (2,5 g/l), prepared on water with different content of calcium ions (mg/l)

гибиторов может быть связано со степенью гидрофобности ГВ, попытались изменить этот параметр, вводя в ГВ ионы кальция (в виде нитрата кальция), что должно было привести к блокированию функциональных групп, повышению степени гидрофобности ГВ и изменению их структуры [9, 11, 14, 17]. Данные о влиянии жесткости воды на эффективность препарата позволили бы сделать вывод о том, какую воду в реальных условиях можно использовать для приготовления раствора препарата.

Действительно, размер частиц ГВ при повышении концентрации ионов кальция увеличился (рис. 3). Однако это не оказало значимого влияния на биологическую активность, значение которой осталось одним и тем же при приготовлении растворов гуматов на дистиллированной мягкой воде и на воде средней жесткости (50, 100 и 150 мг/л ионов кальция).



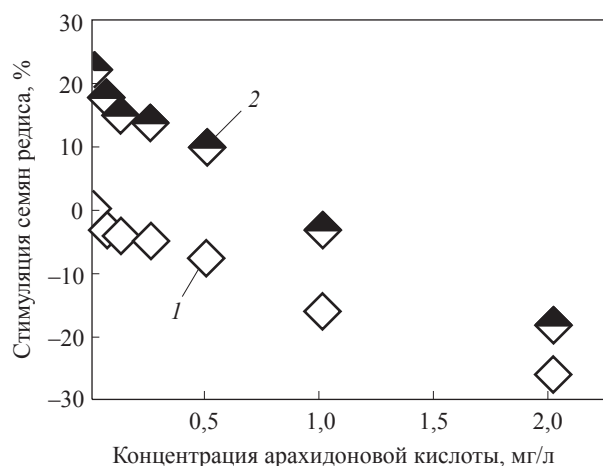


Рис. 4. Влияние содержания арахидоновой кислоты в воде (1) и растворе с гуматом концентрации 10 г/л (2) на прорастание семян редиса

Fig. 4. The effect of the arachidonic acid amount in water (1) and in a solution with a humate concentration of 10 g/l (2) on the radish seed germination

Таким образом, влияние на биологическую активность оказывает, по-видимому, не общая гидрофобность ГВ, а, как и следовало ожидать, строение и количество активных центров, имеющих гидрофобную часть. Причем взаимодействие частиц ГВ между собой (укрупнение или уменьшение размеров частиц) не приводит к снижению их биологической активности. Следовательно, при укрупнении частиц ГВ доступность подавляющего числа активных центров для молекул-ингибиторов, которые они сорбируют, по-видимому, сохраняется.

Попытка повышения биологической активности гуматов путем влияния на количество в них активных центров сорбции молекул-ингибиторов не привела к положительному результату.

На следующем этапе исследования было изучено влияние обработки семян редиса растворами гуматов, содержащих биологически активные вещества. Установлено, что растворы брассиностероидов, ФХФ, гетероауксина и гиббереллинов (препарата «Бутон») не оказывают стимулирующего влияния на биохимические процессы в семенах редиса, а арахидоновая кислота и ПАБК угнетают их развитие (рис. 4, 5).

Добавление препарата «Бутон» к гумату ООО НВЦ «Агротехнологии» приводит к заметному росту стимулирующей активности гумата (рис. 6).

В связи с отсутствием эффекта от воздействия самого препарата «Бутон» (как правило, обработка семян гиббереллинами стимулирует их развитие [7, 8]) наблюдаемое улучшение стимуляции семян редиса явилось достаточно неожиданным. Это может быть связано с тем, что

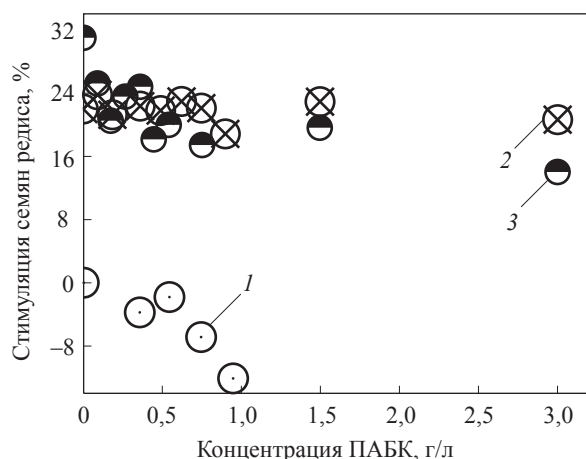


Рис. 5. Влияние ПАБК в воде (1), в растворе с гуматом концентрации 10 г/л (2) и с препаратом «Бутон» концентрации 16 г/л (3) на прорастание семян редиса

Fig. 5. The influence of PABA in water (1), in a solution with a humate concentration of 10 g/l (2) and a concentration of 16 g/l (3) on the radish seed germination

для запуска биохимических процессов в семенах редиса необходимо удалить какие-то молекулы-ингибиторы, без чего даже наличие гиббереллинов не стимулирует процесс развития семян.

Добавление к гумату арахидоновой кислоты (см. рис. 4) и форхлорфенурона (рис. 7) ингибирует эффект стимуляции.

Подобное же ингибирование наблюдается при добавлении форхлорфенурона к раствору гумата с препаратом «Бутон» (см. рис. 5). Учитывая, что сам форхлорфенурон не оказывает влияния на развитие семян, можно предположить, что молекулы форхлорфенурона блокируют активные центры ГВ и это снижает эффективность применения ГВ.

Полученные данные свидетельствуют о том, что знания о влиянии отдельных компонентов системы на основе ГВ на развитие семян не позволяют предсказать направление действия всей используемой системы, т. е. наблюдается констелляция факторов.

Это особенно хорошо заметно при рассмотрении систем на основе ГВ с ПАБК. Использование растворов ПАБК сильно угнетает развитие семян редиса (см. рис. 5). Добавление ПАБК в содержащие гумат растворы незначительно снижает эффективность применения гуматов, т. е. гуматы уменьшают ингибирующий эффект ПАБК, по-видимому, сорбируя его. Однако добавление ПАБК к раствору гумата с препаратом «Бутон» снижает эффективность применения этой системы очень сильно (см. рис. 5).

Из полученных данных хорошо видно, что ГВ сорбируют и, как следствие, уменьшают ак-

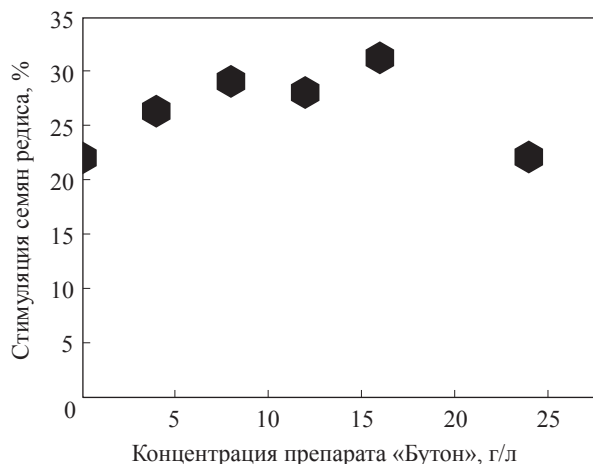


Рис. 6. Влияние содержания препарата «Бутон» в растворе с гуматом концентрации 10 г/л на стимуляцию прорастания семян редиса

Fig. 6. The influence of the «Buton» preparation amount in a solution with a 10 g/l humate on stimulation of radish seed germination

тивность многих веществ, контактирующих с ними. Это могут быть токсины, ингибиторы или стимуляторы. Результат взаимодействия молекул этих веществ с ГВ будет определяться соотношением констант нестойкости соединений, возникающих у этих молекул с ГВ и с веществами в клетках растений или микроорганизмов.

Поскольку мы, как правило, не знаем ни возникающих соединений, ни их констант нестойкости, предсказать направление и эффективность применения систем на основе ГВ заранее, без проведения экспериментов, не представляется возможным.

## Выводы

1. Среди рассмотренных гуминовых препаратов как оказывающий максимальное стимулирующее влияние на развитие семян оказал гумат ООО НВЦ «Агротехнологии».

2. Попытки путем воздействия физическими и физико-химическими факторами на сам препарат и на его растворы усилить действие гумата за счет освобождения активных для адсорбции ингибиторов центров ГВ не привели к положительному результату.

3. Изучение влияния добавок биологически активных веществ и гормонов роста растений к растворам выбранного гумата показало, что синергетическое увеличение эффективности применения гумата наблюдается при его использовании совместно с солями гиббереллиновой кислоты.

4. Экспериментально показана возможность совершенствования препаратов-стимуляторов,

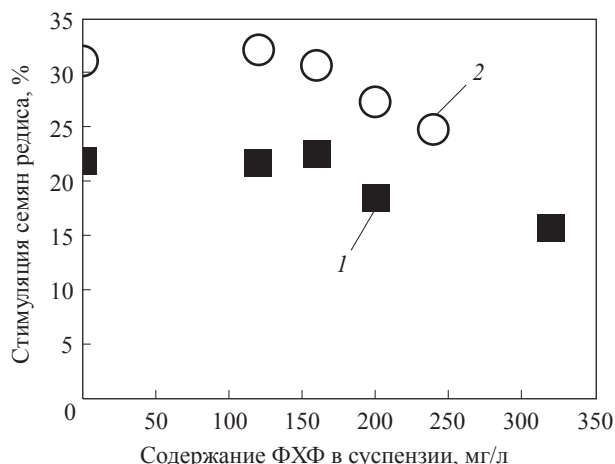


Рис. 7. Влияние содержания форхлорфенурона в растворе с гуматом концентрации 10 г/л (1) и с гуматом концентрации 10 г/л и препаратом «Бутон» концентрации 16 г/л (2)

Fig. 7. The influence of the forchlorfenuron in a solution with a humate concentration of 10 g/l (1) and with a concentration of 10 g/l and a concentration of 16 g/l (2)

применяемых для обработки семян при помощи методики, основанной на выделении семенами при прорастании углекислоты.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации, проект № 37.8809.2017/БЧ.

## Список литературы

- [1] Александрова И.В. О физиологической активности гумусовых веществ и продуктов их метаболизма. Органическое вещество целинных и освоенных почв. М.: Наука, 1972. С. 30–69.
- [2] Безуглова О.С. Гуминовые вещества в биосфере. Учебное пособие. Ростов-н/Д: Южного федерального ун-та, 2009. 120 с.
- [3] Ваксман С. Гумус. Происхождение, состав и значение его в природе. М.: СЕЛЬХОЗГИЗ, 1937. 472 с.
- [4] Горюва А.И., Орлов Д.С., Щербенко О.В. Гуминовые вещества: строение, функции, механизм действия, протекторные свойства, экологическая роль. Киев: Наукова думка, 1995. 303 с.
- [5] Кононова М.М. Органическое вещество почвы, его природа, свойства и методы изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1963. 315 с.
- [6] Мажуль В.М., Прокопова Ж.В., Ивашкевич Л.С. Механизм действия гуминовых препаратов из торфа на структурное состояние мембран и функциональную активность дрожжевых клеток. Гуминовые вещества в биосфере. М.: Наука, 1993. С. 151–157.
- [7] Николаева М.Г., Разумова М.В., Гладкова В.Н. Справочник по проращиванию покоящихся семян. Л.: Наука, 1985. 347 с.
- [8] Обручева Н.В. Прорастание семян. Физиология семян. М.: Наука, 1982. С. 223–274.
- [9] Никонова С.И., Цыпленкова В.П., Григорьева М.А. Вискозиметрия — индикатор термoinдуцированных структурных перестроек органо-минеральных гелей

- почв // Вестник Ленинградского университета, 1987. Сер. 3. Вып. 3. № 17. С. 71–78.
- [10] Экология семян пшеницы / Л.К. Сечняк, Н.А. Киндрук, О.К. Слюсаренко, В.Г. Иващенко, Е.Д. Кузнецов. М.: Колос, 1983. 349 с.
- [11] Федотов Г.Н., Шоба С.А. Влияние структурного перехода в гумусовой матрице почвенных гелей на некоторые свойства почв // Доклады Академии наук, 2014. Т. 457. № 1. С. 57–60.
- [12] Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П. Биологическая активность гумусовых веществ и их влияние на свойства семян // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 26–36.
- [13] Христева Л.А. О природе действия физиологически активных форм гуминовых кислот и других стимуляторов роста растений. Гуминовые удобрения. Теория и практика их применения. Киев, 1968. Ч. 3. С. 13–28.
- [14] Ширшова Л.Т. Ермолаева М.А. Состояние гумусовых веществ почв в водных растворах по результатам электрофореза и гель-хроматографии на сефадексах // Почвоведение, 2001. № 8. С. 955–962.
- [15] Hassan A., Yasir A., Abdul R., Dost M. Effect of humic acid on root elongation and percent seed germination of wheat seeds // International Journal of Agriculture and Crop Sciences, 2014, vol. 7 (4), pp. 196–201.
- [16] Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants // Soil Biology and Biochemistry, 2002, v. 34, no. 11, pp. 1527–1536.
- [17] Osterberg R., Mortensen K.M. Fractal geometry of humic acids. Temperature dependent restructuring studied by small-angle neutron scattering / In: Humic substances in the global environment and implication on human health. Ed. by N. Senesy, T. Milano. Amsterdam: Elsevier, 1994, pp. 256–257.
- [18] Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. From environmental aspects to molecular factors. // Plant Signaling and Behavior, 2010, no. 5, pp. 635–643.
- [19] Zandonadi D.B., Santos M.P., Busato J.G., Peres L.E.P., Façanha A.R. Plant physiology as affected by humified organic matter // Theoretical and Experimental Plant Physiology, 2013, vol. 25 (1), pp. 12–25.

## Сведения об авторах

**Федотов Геннадий Николаевич** — д-р биол. наук, ведущий научный сотрудник Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

**Федотова Магдалина Федоровна** — специалист факультета почвоведения Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

**Шалаев Валентин Сергеевич** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: shalaev@mgul.ac.ru

**Батырев Юрий Павлович** — канд. техн. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: batyrev@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 16.12.2016 г.

## IMPROVING THE APPLICATION OF HUMIC PREPARATIONS FOR PRE-TREATMENT OF SEEDS

G.N. Fedotov<sup>1</sup>, M.F. Fedotova<sup>1</sup>, V.S. Shalaev<sup>2</sup>, Yu.P. Batyrev<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Lomonosov Moscow State University (MSU), Institute of Ecology Soil Science, MSU, GSP-1, Leninskiy Gory, 1-12, 119991, Moscow, Russia,

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

gennadiy.fedotov@gmail.com

On the basis of studying the effect of stimulating radish seed treatment, several humic and non-humic preparations produced by various Russian manufacturers showed that «Agrotechnologies» (Ltd.) humate has the optimal properties. An attempt to improve the biological activity of the humate by increasing the number of active centres of humic substances (to adsorb germination inhibitors) by applying a variety of physical, chemical and physical influences on the preparation itself and its solutions has not given a positive result. It is shown that the efficiency of seed treatment with solutions of «Agrotechnologies» (Ltd.) humate, together with biologically active substances and hormones stimulating plant growth, increases only when it has been used with gibberellins as an additive to the above humate. It has been experimentally confirmed that it is possible to improve the drug stimulant used for seed treatment by applying the technique based on the carbon dioxide evolution by seeds during their germination.

**Key words:** increase of seed germination qualities, humic preparations (drugs), bioactive substance addition, stimulating seed treatment

**Suggested citation:** Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Yu.P. *Povyshenie effektivnosti primeneniya guminovykh preparatov dlya predposevnoy obrabotki semyan* [Improving the application of humic preparations for pre-treatment of seeds]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 37–44. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-37-44

## References

- [1] Aleksandrova I.V. *O fiziologicheskoy aktivnosti gumusovykh veshchestv i produktov ikh metabolizma* [About the physiological activity of humic substances and products of their metabolism] *Organicheskoe veshchestvo tselinnykh i osvoennykh pochv* [Organic matter of virgin and cultivated soils]. Moscow, 1972, pp. 30-69. (in Russian)
- [2] Bezuglova O.S. *Guminovye veshchestva v biosphere* [Humic substances in the biosphere]. Rostov-na-Donu: Yuzhnyi federal'nyy un-t Publ., 2009, 120 p. (in Russian)
- [3] Vaksman S. *Gumus. Proiskhozhdenie, sostav i znachenie ego v prirode* [Origin, composition and its importance in nature]. Moscow, 1937, 472 p. (in Russian)
- [4] Gorovaya A.I., Orlov D.S., Shcherbenko O.V. *Guminovye veshchestva: stroenie, funktsii, mekhanizm deystviya, protekturnyye svoystva, ekologicheskaya rol'* [Humic substances: structure, function, mechanism of action, protective properties, biological role]. Kiev: Naukova dumka Publ., 1995, 303 p. (in Russian)
- [5] Kononova M.M. *Organicheskoe veshchestvo pochvy, ego priroda, svoystva i metody izu-cheniya* [Soil organic matter, its nature, properties, and methods of study]. Moscow: AN USSR Publ., 1963, 315 p. (in Russian)
- [6] Mazhul' V.M., Prokopova Zh.V., Ivshkevich L.S. *Mekhanizm deystviya guminovykh pre-paratov iz torfa na strukturnoe sostoyanie membran i funktsional'nyu aktivnost' drozhzhevykh kletok* [The mechanism of action of humic substances of peat on the structural condition of the membranes and the functional activity of the yeast cells] *Guminovye veshchestva v biosphere* [Humic substances in the biosphere]. Moscow: Nauka Publ., 1993, pp. 151-157. (in Russian)
- [7] Nikolaeva M.G., Razumova M.V., Gladkova V.N. *Spravochnik po prorashchivaniyu poko-yashchikhsya semyan* [Handbook on germination of dormant seeds]. Leningrad: Nauka Publ., 1985, 347 p. (in Russian)
- [8] Obrucheva N.V. *Prorastanie semyan* [Seed germination]. *Fiziologiya semyan* [Seed physiology]. Moscow: Nauka Publ., 1982, pp. 223-274. (in Russian)
- [9] Nikonova S.I., Cyplenkova V.P., Grigor'eva M.A. *Viskozimetriya — indikator termoinducirovannykh strukturnykh perestroek organo-mineral'nykh geley pochv* [Viscometry — indicator thermally induced structural rearrangements of organo-mineral soils gels] *Vestnik Leningradskogo universiteta* [Bulletin of Leningrad University]. 1987, ser. 3, v. 3 (no. 17), pp. 71-78. (in Russian)
- [10] Sechnyak L.K., Kindruk N.A., Slyusarenko O.K., Ivashchenko V.G., Kuznetsov E.D. *Ekologiya semyan pshenitsy* [Ecology wheat seeds]. Moscow: Kolos Publ., 1983, 349 p.
- [11] Fedotov G.N., Shoba S.A. *Vliyanie strukturnogo perehoda v gumusovoy matrice pochvennykh geley na nekotorye svoystva pochv* [Influence of the structural transition in the humus soil matrix gels on some soil properties] *Doklady Akademii nauk*, 2014, v. 457, no. 1, pp.57-60. (in Russian)
- [12] Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Y.P. *Biologicheskaya aktivnost' gumusovykh veshchestv i ikh vliyanie na svoystva semyan* [Biological activity of humic substances and their influence on the properties of seeds]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 26–36.
- [13] Khristeva L.A. *O prirode deystviya fiziologicheskii aktivnykh form guminovykh kislot i drugikh stimulyatorov rosta rasteniy* [On the nature of actions of physiologically active form of humic acid and other plant growth stimulants] *Guminovye udobreniya. Teoriya i praktika ikh primeneniya* [Humic fertilizer. Theory and practice of their application]. Kiev, 1968, part. 3, pp. 13-28. (in Russian)
- [14] Shirshova L.T., Ermolaeva M.A. *Sostoyanie gumusovykh veshchestv pochv v vodnykh rastvorah po rezul'tatam yelektroforeza i gel'-hromatografii na sefadeksah* [Condition of soil humic substances in aqueous solutions according to the results of electrophoresis and gel chromatography on Sephadex] *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science]. 2001, no. 8, pp. 955-962. (in Russian)
- [15] Hassan A., Yasir A., Abdul R., Dost M. Effect of humic acid on root elongation and percent seed germination of wheat seeds. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*. 2014, v. 7 (4), pp. 196-201.
- [16] Nardi S., Pizzeghello D., Muscolo A., Vianello A. Physiological effects of humic substances on higher plants. *Soil Biology and Biochemistry*. 2002, v. 34, no. 11, pp. 1527–1536.
- [17] Osterberg R., Mortensen K.M. Fractal geometry of humic acids. Temperature dependent restructuring studied by small-angle neutron scattering. *Humic substances in the global environment and implication on human health*. Amsterdam: Elsevier, 1994, pp. 256-257.
- [18] Trevisan S., Francioso O., Quaggiotti S., Nardi S. Humic substances biological activity at the plant-soil interface. From environmental aspects to molecular factors. *Plant Signaling and Behavior*. 2010, 5:6, pp. 635-643.
- [19] Zandonadi D.B., Santos M.P., Busato Y.G., Peres L.E.P., Façanha A.R. Plant physiology as affected by humified organic matter. *Theoretical and Experimental Plant Physiology*. 2013, v. 25 (1), pp. 12-25.

## Author's information

**Fedotov Gennadiy Nikolaevich** — Dr. Sci (Biol.) Senior Researcher, Lomonosov Moscow State University, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

**Fedotova Magdalina Fedorovna** — Researcher, Lomonosov Moscow State University, e-mail: gennadiy.fedotov@gmail.com

**Shalaev Valentin Sergeevich** — Dr. Sci (Tech.) Professor, BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: shalaev@mgul.ac.ru

**Batyrev Yuriy Pavlovich** — Cand. (Tech.) Assoc. Prof., BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: batyrev@mgul.ac.ru

Received 16.12.2016

УДК 630.52:587/588

DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-45-54

## МЕТОД РАДИОЧАСТОТНОГО МОНИТОРИНГА ЛЕСНОГО ФОНДА

**С.П. Санников, В.В. Побединский, И.В. Бородулин, А.А. Побединский**

Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ), 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, д. 37  
ssp-54@mail.ru

Рассмотрены проблемы радиочастотного мониторинга лесного фонда. Целью исследований являлось обоснование терминологического и классификационных определений систем радиочастотного мониторинга лесной среды, разработка аналитических выражений расчета основных параметров, обоснование типа, конструктивного решения и способов использования автоматизированной системы контроля перемещения лесоматериалов и состояния лесного фонда. Метод и система радиочастотного мониторинга с использованием устройств RFID позволяют оперативно получать информацию о состоянии древостоя и лесной среде в целом. Объединив сенсоры и датчики RFID в локальную сеть, можно получать необходимую информацию о: перемещении деревьев (лесоматериалов), транспорта; возникновении лесного пожара; состоянии атмосферы в любой точке леса по концентрации газа (дыма); температуре; влажности; приросте леса и других таксационных показателях. Обосновано терминологическое определение радиочастотного мониторинга лесной среды; разработана классификация видов радиочастотного мониторинга лесной среды; созданы системы контроля перемещения лесосырьевых потоков; разработан метод использования радиочастотных устройств мониторинга пожарной опасности в лесах; получены аналитические зависимости расчета основных параметров радиочастотного сигнала в лесной среде. Предложенный метод радиочастотного мониторинга, варианты топологии сети устройств RFID, аналитические выражения для расчета, экспериментальные данные могут быть рекомендованы для использования в практике лесопользования и лесосохранения.

**Ключевые слова:** радиочастотный мониторинг лесного фонда, сеть устройств RFID, параметры лесной среды, лесосырьевые потоки, лесопожарная опасность

**Ссылка для цитирования:** Санников С.П., Побединский В.В., Бородулин И.В., Побединский А.А. Метод радиочастотного мониторинга лесного фонда // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 45–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-45-54

Мониторинг лесного фонда с использованием современных технологий является практически направлением научных исследований, которое получило поддержку на государственном уровне в качестве одного из приоритетных в лесной отрасли [1, 2]. Многие страны, в том числе и Россия, несут огромные потери от лесных пожаров и незаконных рубок [3]. Эти проблемы наносят лесохозяйственникам и лесозаготовителям страны большие убытки, во многом по причине недостаточного обеспечения информацией о лесном фонде. Своевременное принятие управленческих решений невозможно на базе информации, которая поступает с запозданием. Правительство России делает все возможное, создает новые законы, но ситуация не улучшается. Созданная Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней [4] позволяет вести контроль заготовленной древесины, а древесина, которая остается в лесу учитывается через таксационные мероприятия, т. е. это модельная древесина, а не фактически существующая. Имеющиеся методы получения информации для мониторинга древостоев не отвечают потребностям современности по разным причинам. В основном это несвоевременность и низкая точность результатов.

Наиболее эффективно решить эти вопросы можно с использованием современных инфор-

мационных технологий на всех уровнях управления лесами: на уровне лесничеств, арендаторов лесных участков, лесозаготовителей [5].

В ряде работ обосновано применение радиочастотных идентификационных устройств, созданных по технологии RFID [6], работающих на различных частотах стандарта Gen-2 [7] (как пассивных, так и активных) для автоматизированного получения, сбора, передачи и обработки данных о состоянии древостоя, лесной среды и транспортировки лесоматериалов [8, 9].

В работе [10] рассмотрена возможность использования пассивных радиочастотных идентификационных меток на поверхностных акустических волнах при транспортировке круглых лесоматериалов на предприятии.

Таким образом, радиочастотный мониторинг лесного фонда является достаточно новым научным и практически направлением, для которого еще не разработаны терминология, классификация, методы проектирования и применения систем.

Цель настоящей работы — терминологическое и классификационное определения систем радиочастотного мониторинга лесной среды, разработка аналитических выражений расчета основных параметров, обоснование типа, конструктивного решения и способов использования автоматизированной системы контроля перемещения лесоматериалов и состояния лесного фонда.

Для реализации поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1) обосновать терминологическое определение радиочастотного мониторинга лесной среды;

2) разработать классификацию видов радиочастотного мониторинга лесной среды;

3) создать систему мониторинга для контроля перемещения лесосырьевых потоков;

4) разработать метод использования радиочастотных устройств для мониторинга пожарной опасности в лесах.

Рассмотрим перечисленные задачи по порядку.

### Терминологическое определение радиочастотного мониторинга лесной среды

Радиочастотный мониторинг лесного фонда относится к дистанционным видам, таким как авиационный, космический мониторинг или наблюдения с помощью наземных электронных приборов, фото-видеокамер, установленных на расстоянии от пункта наблюдения. Информацию получают по проводным или беспроводным линиям связи. К беспроводным линиям связи относятся прямой радиоканал, спутниковая, сотовая, световая (лазерная) связь и пр. Проводные линии связи — это кабельные и оптические каналы.

Электромагнитные волны радиочастотного диапазона являются надежным носителем для передачи информации о состоянии лесной среды, в чем можно убедиться по множеству мобильных и стационарных устройств бытового и профессионального назначения. Кроме того электромагнитные волны обладают многими полезными физическими свойствами, например, дифракционными — способностью огибать материальные предметы, стволы и сучки деревьев; проникающими — способностью проникать в глубину древесины, которой присуще волновое сопротивление; отталкивающими — возможностью отталкиваться от поверхности. Электромагнитные волны реагируют на температуру, влажность среды и материалов, на электрическую и магнитную проницаемость (проводимость) среды и материалов [11–14].

Измерение перечисленных свойств электромагнитных волн при радиочастотном мониторинге позволяет получить параметры для контроля состояния лесной среды и лесных пожаров, геометрических размеров отдельных древостоев, перемещения лесоматериалов [15]. Все это открывает огромные возможности для создания технологии радиочастотного мониторинга. В целом, это принципиально новое научное и практи-

ческое направление в лесной отрасли, которому можно дать следующее определение: радиочастотный мониторинг — это метод получения информации о состоянии лесной среды, характеристиках древостоев и сырьевых потоках.

### Классификация видов радиочастотного мониторинга лесной среды

Метод радиочастотного мониторинга лесного фонда можно применять для получения обширной информации о состоянии леса с большим количеством параметров, как показано в работах [5, 6]. Реализация метода предусматривает использование специальных нестандартных устройств для сбора информации о параметрах лесного фонда [6]: о наличии дерева в определенном месте или его санкционированном перемещении, о концентрации газов в лесу, например,  $O_2$ ,  $O_3$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $CO_3$ , метана дыма и пр., о влажности и температуре лесной среды, о размерах и приросте дерева. Список функций устройств можно продолжить — это зависит от их назначения и контролируемых параметров для управления лесным фондом. Важно, чтобы радиочастотное устройство обязательно содержало идентификационный номер (метку). Это необходимо для регистрации в базе данных такого устройства, закрепленного на конкретном дереве или лесоматериале. Основные функциональные возможности метода радиочастотного мониторинга учтены при разработке классификации устройств (таблица).

По источнику питания радиочастотные устройства мониторинга лесного фонда подразделяют на пассивные, активные и смешанные. У пассивных устройств энергия питания наводится электрическим или магнитным полем передатчика в колебательном контуре устройства, которое используется для формирования ответного импульса с идентификационным номером. К активным устройствам энергия индивидуального источника питания подводится через соединение (коннектор, пайку). Современные химические элементы питания могут работать до 20 лет. Аккумуляторы можно подзаряжать от альтернативного источника питания [8]. Смешанные системы комплектуются устройствами различного типа.

В зависимости от назначения радиочастотные устройства могут содержать идентификационные номера, датчики состояния лесной среды или измерительное устройство параметра дерева, атмосферы и др. Многообразие радиочастотных устройств позволяет разрабатывать различные системы контроля и управления лесным фон-

**Классификация устройств радиочастотного мониторинга лесной среды**  
**The classification of radio frequency monitoring devices used in the forest environment**

Классификационный критерий	Определение
Вид	Пассивный; активный; полупассивный
Систематизация	По рабочей частоте; по источнику питания; по типу памяти
Назначение устройства	Радиочастотная метка с идентификационным номером; датчик с идентификационным номером; измерительное устройство с идентификационным номером; приемное устройство;
Дальность действия	Ближнего действия (до 20 см); средней дальности (от 20 см до 5 м); дальнего действия (от 5 до 300 м)
Приемное устройство	Считыватель; координатор; маршрутизатор;
Применение устройства по назначению	Охрана деревьев и лесоматериалов; раннее предупреждение о возникновении лесного пожара; измерение прироста дерева (геометрических размеров); измерение температуры воздуха под пологом леса; измерение влажности воздуха под пологом леса, влажности древесины; измерение концентрации газов под пологом леса; управление потоками перемещения лесоматериалов (логистика); измерение объемов лесоматериалов в древостоях; автоматизация управления лесозаготовительной машиной (комплексом машин)
Рабочий диапазон частот (выделенный)	125–134 кГц: низкочастотные (LF — Low Frequency); 13,553–13,567 МГц: высокочастотные (HF — High Frequency); 433,075–434 МГц; 860–930 МГц: ультравысокие частоты (UHF — Ultra High Frequency); 5,65–6,425 ГГц: сверхвысокочастотные (SHF — Super High Frequency)
Память (размер)	От 4 байт до 8 Кбайт
Память (тип)	RO (англ. <i>Read Only</i> ) — данные записываются только один раз, при изготовлении; WORM (англ. <i>Write Once Read Many</i> ) — идентификационный номер метки + блок памяти с однократной записью; RW (англ. <i>Read and Write</i> ) — идентификационный номер метки и блок памяти для чтения и записи информации
Источник электропитания: а) пассивный б) активный	а) Наведенная энергия передатчика в колебательном контуре метки; б) химический элемент питания; альтернативный источник питания (солнечная батарея, элемент Пелье, ионистор, атомный элемент с преобразователем и др.)

дом. Частотный диапазон зависит от назначения устройства и выполняемых им задач [3, 7].

### Система мониторинга для контроля перемещения лесосырьевых потоков

Система мониторинга должна способствовать обеспечению сохранности и полноте учета древесины с момента заготовки и транспортировки до передачи ее заказчику (предприятию). Исследования, проведенные по госбюджетной теме в рамках Уральского лесного технопарка, показали эффективность предлагаемого метода мониторинга перемещения лесосырьевых потоков на основе технологии радиочастотного мониторинга [16]. Контроль перемещения лесоматериалов выполняется с помощью автоматизированной информационной системы, в которой данные поступают от датчиков радиочастотных устройств, расположенных на возможных направлениях транспортировки лесоматериалов [17].

Основой для создания системы являются устройства RFID, размещаемые на стволах деревьев и в сети взаимосвязанных сканеров RFID (считывателей), расположенных на маршрутах движения сырьевых потоков, информация с которых поступает на сервер в базу данных. Система позволяет выполнять сбор информации для контроля и другим способом, например, в ходе патрулирования участков на автомобиле или путем пешего обхода с последующей передачей данных на сервер. Пример расположения электронных сканеров показан на рис. 1. Транспортировка осуществляется автомобильным транспортом. Проехать зону действия сканера и остаться незафиксированным невозможно. Для этого не требуется останавливать транспорт (лесовоз) и проверять документы, тем более что работник полиции не может на месте определить, законно ли вывозится данный груз. Предлагаемая система автоматически, без участия человека, определяет количество груза, место заготовки древесины и место транспортировки. Для рабо-

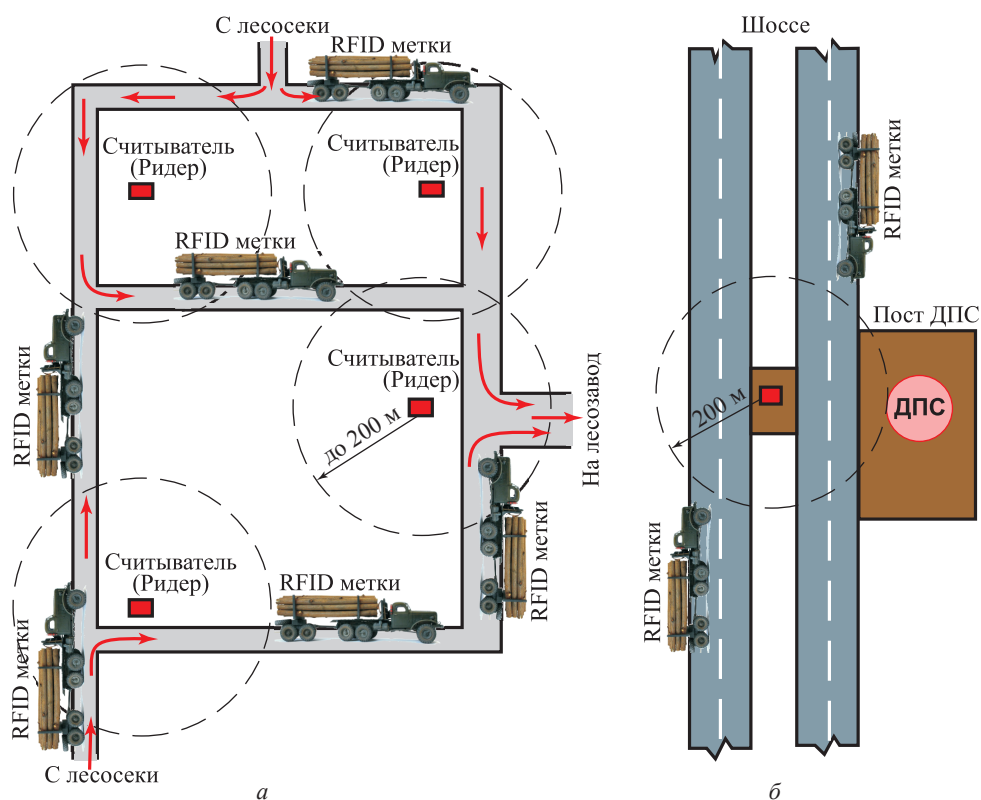


Рис. 1. Схемы расположения сканирующих устройств на второстепенных (проселочных) (а) и магистральных (б) дорогах

Fig. 1. The schemes for location of scanning devices on secondary (country-side) roads (a) and on main highways (b)

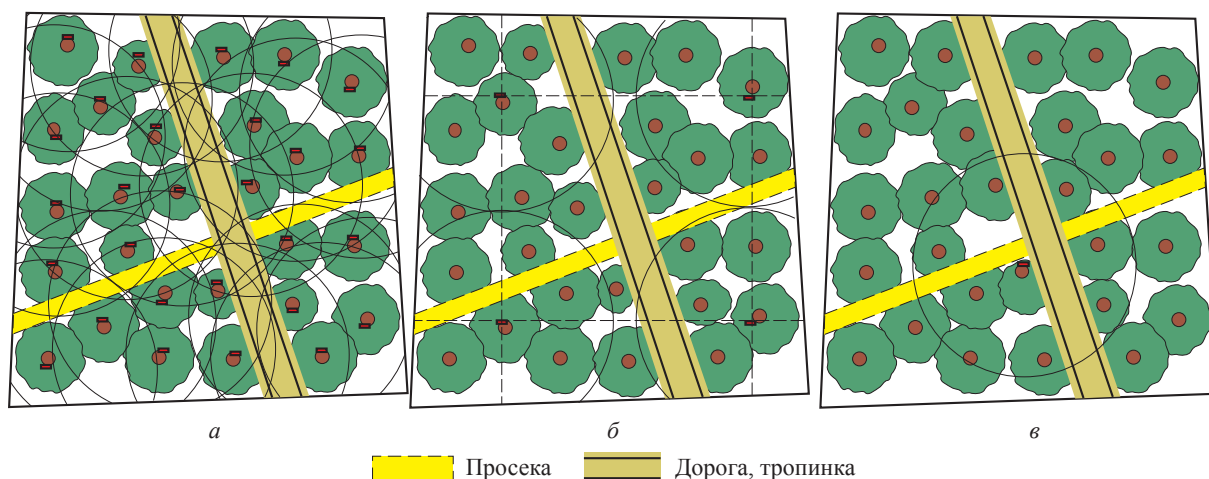


Рис. 2. Схемы расположения устройств RFID на лесном участке системы мониторинга леса: а — выборочная (сплошная) установка датчиков; б — установка датчиков по координатной сетке; в — установка датчиков по периметру участка (в узлах, пересечениях просек и т. д.)

Fig. 2. The layout of RFID devices located on the plot of the forest monitoring system: a — selective (solid) installation of sensors; б — installation of sensors on the grid; в — installation of sensors along the plot perimeter (in nodes, intersections of glades, etc.)

ты необходимо, чтобы оборудование сотрудника контроля было подключено к системе мониторинга движения сырья. Отсюда следует, что с помощью существующих систем мониторинга, таких как фотоснимки, периодически получаемые со спутника, или периодический обход участков работниками леса, можно в лучшем случае

констатировать вывозку лесных ресурсов, но нельзя установить, в какое время и кем совершена вывозка древесины. Предлагаемая система обладает максимальной оперативностью, своевременным (в режиме реального времени) обеспечением соответствующих служб информацией о движении лесных ресурсов [5].



Возможные схемы расположения устройств RFID на деревьях (лесоматериалах) с датчиками контроля перемещения показаны на рис. 2:

1) *сплошная* или *выборочная* установка (на особо ценных породах деревьев с высоким риском незаконных рубок) (рис. 2, а);

2) установка по *координатной сетке*. Координатная сетка строится в зависимости от радиуса действия RFID-датчиков (например, если радиус действия датчика 200 м, то шаг сетки должен быть 400 м) (рис. 2, б);

3) установка по *периметру* участка (квартала, лесосеки) (рис. 2, в).

Первые две схемы дают лучшие результаты и их можно рекомендовать для решения большинства задач при управлении лесами (уход за лесом, контроль рубок леса, охрана лесов, предупреждение пожаров и пр.).

Сканирование данных с датчиков можно осуществлять всеми доступными способами, включая использование и переносных сканеров. Различие между способами состоит в том, что одни способы дают более полную информацию, чем другие. Допускается построение сети на базе стационарных сканирующих устройств по схеме, изображенной на рис. 1.

## Использование радиочастотных устройств для мониторинга пожарной опасности в лесах

Проблема контроля лесных пожаров связана с запаздыванием при обнаружении пожара и принятии решений по его ликвидации. Предупреждать пожары на ранних стадиях гораздо эффективней, чем ликвидировать их на больших площадях. Здесь широкое применение нашли глобальные способы мониторинга лесов, например, со спутников или других летательных аппаратов, вышек видеонаблюдения и пр. Эти технологии, кроме достоинств имеют и существенные недостатки — задержку во времени и обязательное участие человека в качестве оператора.

Альтернативой существующим методам мониторинга лесов является технология на основе радиочастотных устройств, объединенных в локальную сеть. Они способны работать без участия человека или при минимальном его участии (которое заключается, например, в установке радиочастотных устройств в лесу, обслуживании устройств по сбору и передаче данных). Радиочастотные устройства в зависимости от функции могут реагировать на изменение состояния лесной среды — на концентрацию дыма, температуру, фитомассу, прирост дерева, незаконные рубки деревьев и их перемещение [6].

Для проектирования таких систем необходимы аналитические модели основных параметров радиоизлучения, которые были получены при проведении настоящего исследования с использованием экспериментальных данных. Эксперименты показали, что значения ослабления мощности в радиоканале можно лишь в первом приближении описывать известным логарифмически-нормальным законом по формуле [16]

$$PL(d) = \overline{PL}(d) + X_{\sigma} = \overline{PL}(d_0) + 20n \lg \frac{d}{d_0} + X_{\sigma}, \quad (1)$$

где  $\overline{PL}(d)$ ,  $\overline{PL}(d_0)$  — средние крупномасштабные потери соответственно при произвольном и опорном расстоянии между излучателем и приемником (черта показывает среднее из возможных значений потерь для данного расстояния  $d$ ), дБ;

$d$  — расстояние между излучателем  $R$  и приемником  $T$ , а также расстояние от излучателя до границы отсчета, м;

$X_{\sigma}$  — случайная величина с нормально-логарифмическим законом распределения со стандартной девиацией, зависящая от проводимости  $\sigma$  среды, дБ;

$d_0$  — опорное расстояние, равное 0,1 м;

$n$  — степень дифракции, показывает, с какой скоростью возрастают потери передачи от расстояния.

Значения  $n$  и  $d$  взяты по экспериментальным данным при  $X_{\sigma} = 0$ . Для определенных условий данные величины достаточно точные, поскольку значение  $PL(d)$  является случайной величиной с нормальным распределением по шкале дБ от расстояния  $d$  и можно считать, что так же случайно распределена функция мощности принимаемой антенны

$$P_R(d) = P_T(d) - PL(d),$$

где  $P_T(d)$  — мощность, излучаемая антенной RFID-устройства с коэффициентом усиления  $G_T$  на расстоянии  $d$ .

Для оценки отражения от поверхности кроны, сучьев и стволов деревьев можно использовать сетку кривых, предложенную в работе [16] для расчета среднего ослабления сигнала в свободном пространстве  $A_{ma}$  в условиях многократного отражения с квазигладким профилем изотропной поверхности, которой соответствуют стволы деревьев. Источник сигнала поднят на эффективную высоту  $h_{re}$  станции опроса, тогда RFID-датчик, поднятый на высоту, имеет параметр  $h_{re}$  ( $h_{re} \gg h_{re}$ ). Графики (рис. 3), полученные в результате множества измерений с ненаправленными антеннами станции опроса и датчика, приведены для частот ~900 МГц как функция расстояния до 100 м.

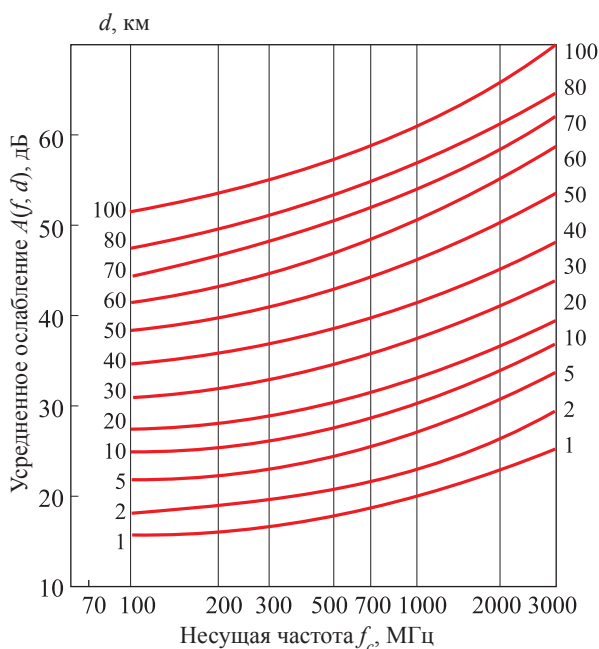


Рис. 3. Частотное распределение усредненного ослабления сигнала по отношению к свободному пространству для квазигладкого профиля радиоканала

Fig. 3. Frequency distribution of the averaged signal attenuation with respect to free space for a quasi-smooth radio channel profile

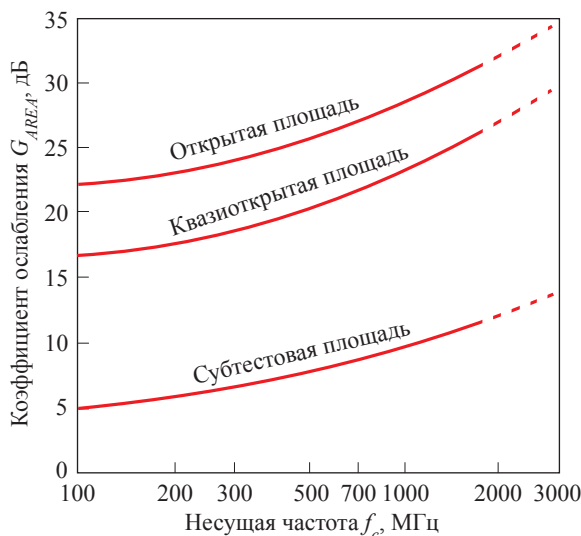


Рис. 4. Поправочный коэффициент, обусловленный профилем радиоканала

Fig. 4. The correction factor due to the profile of the radio channel

Для определения средней величины потерь  $L_{50}$ , дБ на линии распространения радиоволны рассчитывают ослабление поля в свободном пространстве  $L_F$ , затем по кривым графика (см. рис. 3) находят величину  $A_{ma}(f, d)$  и добавляют к ослаблению в свободном пространстве с корректирующей поправкой, зависящей от степени неровности профиля местности меж-

ду датчиком и станцией опроса по следующей формуле

$$L_{50} = -L_F + A_{ma}(f, d) - G(h_{te}) - G(h_{re}) - G_{AREA}, \quad (2)$$

где  $A_{ma}$  — усредненное дополнительное ослабление, обусловленное влиянием земной поверхности;

$G(h_{te})$  — эффективное усиление передающей антенны;

$G(h_{re})$  — эффективное усиление приемной антенны;

$G_{AREA}$  — поправочный коэффициент (берется из графика на рис. 4).

В работе [16] сделан вывод, что величина  $G(h_{te})$  изменяется на величину 20 дБ/дек, а  $G(h_{re})$  для высот менее 3 м — 10 дБ/дек. Предложенная в [16] модель построена на экспериментальных данных, что облегчает ее использование в различных расчетах. Графики, полученные в [16], можно экстраполировать для различных условий в зависимости от решаемой задачи. Результаты являются стандартом при расчете систем связи и устройства сетей в Японии.

Главным недостатком модели, описанной уравнением (2), является использование графиков и невозможность полноценного учета быстро изменяющихся условий местности, например порывов ветра, колебаний крон, осадков и пр. В основном рассмотренный метод используется при расчете радиоканала для сложных условий на неоднородной местности. Разница значений расчетных и экспериментально измеренных напряженностей поля не превышает 10...13 дБ.

Приведенные исследования показали, что результаты могут быть использованы для расчетов автоматизированной системы сбора и передачи данных мониторинга леса. Но поиск конструкторских решений по увеличению дальности канала передачи данных с устройствами RFID продолжается. Например, если решить задачу увеличения мощности радиочастотных устройств при определенной длине волны  $\lambda$  несущей частоты считывателя, можно значительно увеличить расстояние от датчика RFID до считывателя.

Механизм распространения радиоволн в лесной среде разнообразен, но в основном обусловлен отражением, дифракцией и рассеянием. Большинство систем работают в местах с отражающими элементами, где нет прямой видимости антенн передатчика и приемника, а наличие высоких деревьев вызывает большие дифракционные потери. Из-за многократного отражения от различных объектов радиоволны накладываются друг на друга, т. е. создают шумы. Интерференция этих волн вызывает сильное измене-

ние уровня сигнала от сканирующего устройства и RFID-датчика.

Для предсказания среднего уровня принимаемого сигнала на расстоянии от излучателя и определения разброса его значений в зависимости от конкретной ситуации на радиотрассе авторы работ [18, 19] выполнили моделирование распространения радиоволн. Расчет радиолинии позволил определить зону обслуживания станции опроса и RFID-датчика, т. е. места их расположения, и топологию сети.

При перемещении приемника станции опроса относительно RFID-датчика даже на малые расстояния принимаемый сигнал может изменяться в больших пределах. Это происходит из-за того, что принимаемый сигнал представляет собой сумму многих волн с разным направлением, проходящих разное расстояние и имеющих различную амплитуду и фазу. Экспериментально установлено [16], что суммарный сигнал подчиняется закону Релея, а в зависимости от радиоканала изменения мелкомасштабной девиации могут составлять 3–4 порядка, т. е. уровень сигнала может изменяться на 30...40 дБ (рис. 5).

Разработана модель распространения электромагнитных волн в свободном пространстве, которая используется для расчета принятого сигнала в условиях, когда передающая и приемная антенны находятся на открытой местности, не затененной препятствиями [16]. Эту модель можно рекомендовать для расчета радиоканалов других систем, например, для связи через спутник. Мощность, принимаемая приемной антенной с усилением  $G_r$ , которая излучается антенной передатчика мощностью  $P_t$  с коэффициентом усиления  $G_t$  на длине волны  $\lambda$  (м) и на расстоянии  $d$  на открытом неограниченном пространстве, рассчитывается по формуле [18]

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2}.$$

Коэффициент усиления антенны  $G$  определяется из выражения

$$G = \frac{4\pi \cdot A_e}{\lambda^2},$$

где  $A_e$  — эффективная площадь поверхности антенны, м<sup>2</sup>.

Длина волны  $\lambda$ , м, связана с несущей частотой и определяется соотношением

$$\lambda = \frac{c}{f},$$

где  $c$  — скорость света;

$f$  — частота радиоизлучения.

Принимаемая антенной мощность в соответствии с выражением (1) убывает с ростом расстояния

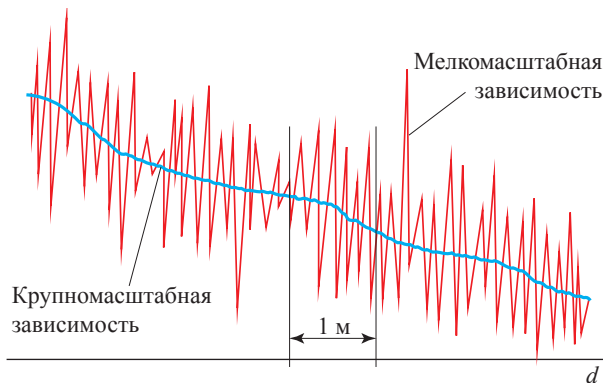


Рис. 5. Зависимость изменения напряженности поля от расстояния  $d$  до передающей антенны с учетом влияния случайных факторов на частоте 900 МГц

Fig. 5. The change in the field strength as a function of the distance to the transmitting antenna, taking into account the influence of random factors at 900 MHz

яния  $d$  со скоростью 20 дБ/дек, т. е. пропорционально множителю  $1/d^2$ .

Потери передачи, дБ, в радиоканале  $PL$  (отношение принятой и излученной мощности) рассчитывают по формуле

$$PL = 10 \lg \frac{P_t}{P_r} = -10 \lg \left[ \frac{G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2} \right].$$

Изменение уровня принимаемой мощности  $P_r(d_0)$  в зависимости от расстояния очень велико, поэтому мощность в дБ/мВт (децибеллах по отношению к 1 милливатту) или в дБ/Вт (децибеллах по отношению к 1 ватту) по формуле

$$P_r(d) = 10 \lg [P_r(d_0)] + 20 \lg \left[ \frac{d_0}{d} \right],$$

$$d \geq d_0 \geq d_r$$

где значения  $P_r(d_0)$  подставляют в Вт.

Опорное расстояние  $d_0$  обычно выбирается равным 100 м или кратным ему. В лесных массивах с высокой плотностью деревьев на единицу площади рекомендуется принимать  $d_0 = 1$  м.

Таким образом, предложенная система радиочастотного мониторинга пожарной опасности с вариантами схем расположения устройств RFID на лесном участке и уравнения для расчетов основных параметров радиосигнала в лесной среде апробированы экспериментально и могут быть использованы в практике лесопользования и лесопользования.

## Выводы

1. Предложено терминологическое определение радиочастотного мониторинга лесной среды, которое может быть использовано для соответствующих нормативных документов.

2. Разработана классификация устройств радиочастотного мониторинга лесной среды по видам функциональных признаков, которые использовались в экспериментальных системах мониторинга.

3. Показано, что электромагнитные волны радиочастотного диапазона являются надежным носителем информации о состоянии лесной среды, а также обладают дифракционными, проникающими и отражающими свойствами. По соответствующим измерениям можно определять параметры дерева, лесной среды, количество древостоя с точностью до одного ствола, размеры прироста леса и другие таксационные показатели.

4. Разработана система мониторинга для контроля лесосырьевых потоков с различными вариантами расположения радиочастотных устройств.

5. Разработаны метод использования и система радиочастотных устройств для мониторинга пожарной опасности в лесах путем измерения концентрации дыма и различных газов, температуры. Предложенные аналитические зависимости расчета основных параметров радиочастотного сигнала достаточно адекватны и могут быть рекомендованы для проектирования таких систем.

## Список литературы

- [1] Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года / Правительство Российской Федерации. Распоряжение от 26 сентября 2013 г. № 1724-р.
- [2] Лесной кодекс Российской Федерации от 21.07.2014 г. № 200. URL: <http://www.leskod.ru> (дата обращения: 24.10.2016).
- [3] Санников С.П., Герц Э.Ф., Шипилов В.В., Серков П.А. Моделирование системы мониторинга перемещения лесосырьевых потоков и пожаров на основе синергетической сети RFID датчиков // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2014. № 2-С. С. 104–110.
- [4] Единая государственная автоматизированная информационная система учета древесины и сделок с ней (ЕГАИС УДиС). URL: <http://www.rosleshoz.gov.ru/activity/> (дата обращения: 24.10.2016).
- [5] Санников С.П., Герц Э.Ф. Информационные технологии в управлении лесами // Информатизация процессов формирования открытых систем на основе САПР, АСНИ, СУБД и системы искусственного интеллекта: Матер. 5-й Междунар. науч.-техн. конф. Вологда: ВоГТУ, 2009. С. 269–271.
- [6] Серебренников М.Ю., Санников С.П. Возможности и перспективы использования RFID-технологии в таксационных исследованиях управления лесами // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Матер. VII Всероссийской науч.-техн. конф. Ч. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 58–60.
- [7] RFID-системы стандарта EPC Gen2. URL: <https://habrahabr.ru/post/194908/> (дата обращения: 15.12.2016).
- [8] Санников С.П., Герц Э.Ф. Сбор данных о состоянии и транспортировке леса // Формирование регионального лесного кластера: социально-экономические и экологические проблемы и перспективы лесного комплекса: Матер. VIII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 21–25.
- [9] Мезенцев Д.К., Санников С.П. Система контроля движения лесосырьевых потоков // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Матер. VII Всероссийской науч.-техн. конф. Ч. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 39–40.
- [10] Создание системы мониторинга перемещения и поштучной автоматической идентификации круглых лесоматериалов в цепи поставок / Э.О. Салминен, А.А. Борозна, Н.В. Черная, М.В. Симоненков, И.В. Бачериков // Матер. Междунар. науч.-техн. конф. «Автоматический контроль и автоматизация производственных процессов». Минск: БГТУ, 2015. № 1. С. 15–18.
- [11] Чухланцев А.А., Шутко А.М., Головачев С.П. Ослабление электромагнитных волн растительными покровами // Радиотехника и электроника, 2003. Т. 48. № 11. С. 1285–1311.
- [12] Pampaloni P. Microwave radiometry of forests // Waves in Random Media, 2004, no. 14, pp. 275–298.
- [13] Tamir T. On radio wave propagation in forest environments // IEEE Trans. Antennas and Propag., 1967, v. 15, no. 6, pp. 806–817.
- [14] Herbstreit J.W., Crichlow W.Q. Measurement of the attenuation of radio signals by jungles // J. Res. Nat. Bur. Standarts, 1964, no. 8. pp. 903–906.
- [15] Серков П.А., Санников С.П. Измерение радиопоглощения в задачах локального лесного мониторинга // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: Матер. X Всерос. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов и конкурса по программе «УМНИК». Ч. 1. Екатеринбург: УГЛТУ, 2014. С. 209–211.
- [16] Okumura Y. et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service // Review of the Electr. Commun. Lab, 1968, v. 16, no. 9–10, pp. 825–873.
- [17] Герц Э.Ф., Санников С.П. Методика проведения мониторинга движения сырьевых потоков в лесопромышленном производстве на основе RFID-технологии // Формирование регионального лесного кластера: социально-экономические и экологические проблемы и перспективы лесного комплекса: Матер. VIII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: УГЛТУ, 2011. С. 354–358.
- [18] Система раннего предупреждения пожаров на основе мониторинга лесов / В.Г. Лисиенко, Э.Ф. Герц, Е.М. Шлеймович, С.П. Санников, В.В. Шипилов, С.С. Сусллова, Д.Г. Суслов // Тр. Рос. науч.-техн. общества радиотехники, электроники и связи им. А.С. Попова. Серия: Инженерная экология. Вып. V. Матер. Междунар. симп. «Инженерная экология – 2009» (совместно со школой-семинаром молодых ученых), Москва, 9–11 декабря 2010 г., Институт радиотехники и электроники РАН, Институт проблем экоинформатики РАН. М.: Институт радиотехники и электроники РАН; Институт проблем экоинформатики РАН, 2010. С. 107–109.
- [19] Зависимость падения мощности сигнала от параметров лесной среды при радиочастотном мониторинге лесного фонда / С.П. Санников, В.В. Побединский, И.В. Бородулин, М.А. Черницын, Н.С. Кузьминов // Системы. Методы. Технологии, 2016. № 4 (32). С. 181–187. URL: [http://elibrary.ru/download/elibrary\\_27517939\\_10915658.pdf](http://elibrary.ru/download/elibrary_27517939_10915658.pdf) (дата обращения: 15.12.2016).

## Сведения об авторах

**Санников Сергей Петрович** — канд. техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник кафедры «Автоматизация производственных процессов» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), e-mail: SSP-mail@mail.ru

**Побединский Владимир Викторович** — д-р техн. наук, профессор кафедры сервиса и технической эксплуатации Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), e-mail: pobed@e1.ru

**Бородулин Игорь Викторович** — аспирант кафедры сервиса и технической эксплуатации Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), e-mail: ugadn66@bk.ru

**Побединский Андрей Анатольевич** — соискатель кафедры «Автоматизация производственных процессов» Уральского государственного лесотехнического университета (УГЛТУ), e-mail: SSP-2@e1.ru

Статья поступила в редакцию 15.03.2017 г.

## THE METHOD OF THE TIMBER STOCK RADIO-FREQUENCY MONITORING

**S.P. Sannikov, V.V. Pobedinsky, I.V. Borodulin, A.A. Pobedinsky**

Ural State Forestry University» (USFEU), 37, Siberian highway st., Ekaterinburg, Russia, 620100

ssp-54@mail.ru

The article deals with some problems of radio-frequency monitoring of the timber stock in this country. The purpose of studies is to give terminological and taxonomic definitions of the systems of timber stock radio-frequency monitoring, to develop the analytical expressions of the main parameter calculation, to substantiate the type, the structural choice and the way of using the automatic systems of monitoring the timber transportation and the forest stand conditions. *Materials and methods.* The method and the system of radio-frequency monitoring by using the RFID device allow rapidly to get information about the forest stand conditions and about a forest habitat as a whole. Having combined some RFID sensors and detectors into a local network, it is possible to get all necessary information about timber transportation, the means of transport, a wildfire accident, the atmospheric condition in any point of a forestland by taking into account gas or smoke concentration, about temperature, moisture, recruitment and other forest survey factors. To calculate the main parameter of a radio-frequency signal some related analytical dependencies have been derived. *Results.* 1. The terminological definition of the forest habitat radio-frequency monitoring has been substantiated. 2. The classification of types of the forest habitat radio-frequency monitoring has been suggested. 3. The systems of the timber transportation control have been developed. 4. The method of using radio-frequency devices to prevent any fire hazard in forests has been developed, and the analytical dependencies of calculating the radio-frequency signal main parameters in a forest habitat have been found. The suggested method of radio-frequency monitoring, certain variants of the RFID device network topology, the analytical expressions to make calculations, the experimental data can be recommended for practical use in the forest management and in the forest exploitation.

**Keywords:** radio-frequency monitoring of the timber stock; RFID device network; the forest habitat parameters; raw wood material flows; forest fire hazard

**Suggested citation:** Sannikov S.P., Pobedinsky V.V., Borodulin I.V., Pobedinsky A.A. *Metod radiochastotnogo monitoringa lesnogo fonda* [Method radio-frequency monitoring the timber fund]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 45–54. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-45-54

## Reference

- [1] *Osnovy gosudarstvennoy politiki v oblasti ispol'zovaniya, okhrany, zashchity i vosproizvodstva lesov v Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda* [Fundamentals of state policy in the use, protection, conservation and regeneration of forests in the Russian Federation for the period until 2030]. Government of the Russian Federation. Order No. 1724-r of September 26, 2013. (in Russian)
- [2] *Lesnoy kodeks Rossiyskoy Federatsii* [Forest Code of the Russian Federation]. Federal Law of July 21, 2014. Available at: <http://www.lescad.> (24.10.2016). (in Russian)
- [3] Sannikov S.P., Hertz E.F., Shipilov V.V., Serkov P.A. *Modelirovanie sistemy monitoringa peremeshcheniya lesosyr'evykh potokov i pozharov na osnove sinergeticheskoy seti RFID datchikov* [Modeling of the monitoring system to trace the movement of forest resources flows and forest fires which is based on the synergistic network of RFID sensors]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*. 2014. № 2-C. 104-110. (in Russian)

- [4] *Edinaya gosudarstvennaya avtomatizirovannaya informatsionnaya sistema ucheta drevesiny i sdelok s ney (EGAIS UDiS)* [A Unified State Automated Information System for Timber Inventory and Transactions (EAAIS UDiS)]. Available at: <http://www.roslechos.gov.ru/accidents/> (24.10.2016). (in Russian)
- [5] Sannikov S.P., Gerts E.F. *Informatsionnye tekhnologii v upravlenii lesami* [Information technology in forest management] Informatization of the processes of the formation of open systems on the basis of CAD, ASNI, DBMS and the system of artificial intelligence: Materials of the 5-th international. Scientific techn. Conf. Vologda: VSTU Publ., 2009. pp. 269-271. (in Russian)
- [6] Serebrennikov M.Yu., Sannikov S.P. *Vozmozhnosti i perspektivy ispol'zovaniya RFID-tekhnologii v taksatsionnykh issledovaniyakh upravleniya lesami* [Opportunities and prospects of using RFID technology in taxation studies of forest management] Scientific creativity of youth - to the forest complex of Russia. Materials VII All-Russian scientific technical Conf. P. 1. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2011. pp. 58-60. (in Russian)
- [7] *RFID-sistemy standarta EPC Gen2* [RFID-systems of the EPC standard Gen2]. Available at: <http://habrahbr.ru/post/194908/> (reference date: December 15, 2016). (in Russian)
- [8] Sannikov S.P., Gerts E.F. *Sbor dannykh o sostoyanii i transportirovki lesa* [Collection of data on the condition and transport of the forest] Formation of a regional forest cluster: socio-economic and ecological problems and forest complex perspectives. Materials of the 8th International Scientific and Technical Conference. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2011. pp. 21-25. (in Russian)
- [9] Mezentsev D.K., Sannikov S.P. *Sistema kontrolya dvizheniya lesosyr'evykh potokov* [The system for controlling the movement of forest resources flows] Scientific creativity of youth - to the forest complex of Russia. Materials VII All-Russian scientific-technical Conf. P. 1. Ekaterinburg: UGLTU Publ., 2011. pp. 39-40. (in Russian)
- [10] Salminen E.O., Borozna A.A., Chernaya N.V., Simonenkov M.V., Bacherikov I.V. *Sozдание sistemy monitoringa peremeshcheniya i poshtuchnoy avtomaticheskoy identifikatsii kruglykh lesomaterialov v tsepi postavok* [Creation of a monitoring system for moving and piece-by-piece automatic identification of round timber in the supply chain] Materials of the international scientific and technical conference Automated control and automation of production processes. Minsk: BSTU Publ., 2015. № 1, pp. 15-18. (in Russian)
- [11] Chukhlantsev A.A., Shutko A.M., Golovachev S.P. *Oslablenie elektromagnitnykh voln rastitel'nymi pokrovami* [Weakening of Electromagnetic Waves by Plant Beds] Radio Engineering and Electronics, 2003, v. 48, no. 11, pp. 1285-1311. (in Russian)
- [12] Pampaloni P. Microwaves radiometers of forests. *Waves in Random Media*. 2004.14. pp. 275-298.
- [13] Tamir T. On radio wave propagation in forest environments // *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, 1967, v. 15, no. 6, pp. 806-817.
- [14] Herbstreit J.W., Crichlow W.Q. Measurement of the attenuation of radio signals by jungles // *J. Res. Nat. Bur. Standarts*, 1964, no. 8. pp. 903-906.
- [15] Serkov P.A., Sannikov S.P. *Izmerenie radiopogloshcheniya v zadachakh lokal'nogo lesnogo monitoringa* [Measurement of radio absorption in local forest monitoring tasks] Scientific creativity of youth - to the forest complex of Russia. Materials X All-Russian scientific-technical. Conf. Students and graduate students and the competition under the program "UMNIK" P. 1. Ekaterinburg: UGLTU, 2014, pp. 209-211. (in Russian)
- [16] Okumura Y. et al. Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service // *Review of the Electr. Commun. Lab*, 1968, v. 16, no. 9-10, pp. 825-873.
- [17] Gerts E.F., Sannikov S.P. *Metodika provedeniya monitoringa dvizheniya syr'evykh potokov v lesopromyshlennom proizvodstve na osnove RFID-tekhnologii* [Methods for monitoring the movement of raw materials in the timber industry based on RFID technology] Formation of a Regional Forest Cluster: Socio-economic and Ecological Problems and Forest Complex Prospects. Mater. International Research Institute of Intern. Scientific-techn. Conf. Ekaterinburg: UGLTU, 2011, pp. 354-358. (in Russian)
- [18] Lisienko V.G., Gerts E.F., Shlyemovich E.M., Sannikov S.P., Shipilov V.V., Suslova S.S., Suslov D.G. *Sistema rannego preduprezhdeniya pozharov na osnove monitoringa lesov* [Early warning system for fires based on forest monitoring] Proceedings of the Rossiysk Scientific and Technical Society of Radio Engineering, Electronics and Communications named after A.S. Popova. Series: Engineering Ecology. Issue: V. Materials of the international symposium engineering ecology - 2009 (in conjunction with the school-seminar of young scientists). Moscow: Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences. Institute of Ecoinformatics Problems of RAEN. Moscow: Institute of Radio Engineering and Electronics of the Russian Academy of Sciences. Institute of Ecoinformatics Problems RAEN, 2010. pp. 107-109. (in Russian)
- [19] Sannikov S.P., Pobedinskiy V.V., Borodulin I.V., Chernitsyn M.A., Kuz'minov N.S. *Zavisimost' padeniya moshchnosti signala ot parametrov lesnoy sredy pri radiochastotnom monitoringe lesnogo fonda* [Dependence of the signal power drop on the parameters of the forest environment during radiofrequency monitoring of the forest fund] Systems. Methods. Technologies. Bratsk, 2016, no. 4 (32), pp. 181-187. Available at: [http://elibrary.ru/directory/librarians\\_27517939\\_10915658.pdf](http://elibrary.ru/directory/librarians_27517939_10915658.pdf) (circulation date: December 15, 2016). (in Russian)

## Author's information

**Sannikov Sergey Petrovich** — Cand. Tech. Sci., Associate Professor, Leading Researcher of the Department «Automation of Production Processes» of the Ural State Forestry University (UGLTU), e-mail: SSP-mail@mail.ru

**Pobedinskiy Vladimir Viktorovich** — Dr. Tech. Sci. Professor of the Department of Service and Technical Maintenance of the Ural State Forestry University (UGLTU), e-mail: pobed@e1.ru

**Borodulin Igor' Viktorovich** — postgraduate student of the Department of Service and Technical Maintenance of the Ural State Forestry University (UGLTU), e-mail: uga66@bk.ru

**Pobedinskiy Andrey Anatol'evich** — competitor of the Department Automation of production processes of the Ural State Forestry University (UGLTU), e-mail: SSP-2@e1.ru

Received 15.03.2017

## К ВОПРОСУ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЦВЕТА РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД ДРЕВЕСИНЫ

Б.М. Рыбин<sup>1</sup>, И.А. Завражнова<sup>1</sup>, Д.Б. Рыбин<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> ООО «Тимберланд»,

141865, Московская область, Дмитровский район, рабочий поселок Некрасовский, Северная улица, 10

rybin@mgul.ac.ru

Цвет древесины — одна из декоративных характеристик качества ее поверхности, учитываемая при диагностике пород. Количественная оценка цвета осуществляется по цветовому тону, чистоте цвета и светлоте. Цветовой тон характеризуется длиной волны отраженного светового потока. Чистота цвета, или насыщенность, характеризуется смещением спектрального цвета с белым. Чистоту цвета как физический показатель можно выразить через отношение количества хроматического цвета к общему количеству света, отражаемого от поверхности. Светлота характеризуется коэффициентом отражения. Цветовые характеристики древесины некоторых пород были определены ранее, однако в распоряжении исследователей на тот момент был ограниченный круг древесных пород. С помощью атласа цветов, разработанного Е.Б. Рабкиным, были определены цветовые характеристики 160 пород древесины. Исследуемые породы древесины произрастали на различных территориях и в различных климатических зонах. С помощью фотоэлектрического блескомера ФБ-2 определяли показатели белизны. Эта приборная характеристика по своей сути приближается к оценочному показателю светлоты, определяемому по атласу цветов. Исследования пород древесины показали, что все показатели, за исключением цветового тона, имеют значительную изменчивость. Цветовой тон всех исследуемых пород древесины независимо от территории произрастания соответствует оранжево-желтому (ближе к желтому) участку спектра. В статье приводится объяснение данного факта. Установлена корреляционная связь между светлотой, определяемой по атласу цветов, и белизной, определяемой по фотоэлектрическому блескомеру. Уравнения прямых с высоким коэффициентом корреляции получены для образцов древесины, произрастающих на территории Российской Федерации, Америки, Африки, Азии. Графики позволяют сделать вывод о воздействии видимых солнечных лучей на формирование древесной массы дерева, а одновременно и на формирование цвета древесины. Результаты работы могут быть использованы в фундаментальных исследованиях древесины как природного материала с присущим ему признаком цвета.

**Ключевые слова:** цветовой тон древесины, светлота, насыщенность, белизна

**Ссылка для цитирования:** Рыбин Б.М., Завражнова И.А., Рыбин Д.Б. К вопросу определения цвета различных пород древесины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 55–60. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-55-60

Цвет древесины характеризует ее внешний вид, определяет декоративные качества ее поверхности и учитывается при диагностике пород.

Для количественной характеристики цвета необходимо определить цветовой тон, чистоту цвета и светлоту [1]. Цветовой тон характеризуется длиной волны  $\lambda$  спектрального состава отраженного светового потока. Чистота цвета  $P$  характеризуется смещением спектрального цвета с белым, что приводит к уменьшению его насыщенности. Если оценить чистоту цвета как физический показатель, то это отношение количества хроматического цвета, свойственного данному материалу, к общему количеству отражаемого им света. Светлота  $\rho$  определяется коэффициентом отражения, т. е. отношением количества отраженного светового потока к падающему.

Цветовые характеристики древесины некоторых пород были определены Б.М. Уголевым [2]. В его распоряжении на тот момент был ограниченный круг древесных пород (в основном отечественных).

Цель данной работы — определение цвета пород древесины, произрастающих в различных климатических зонах.

### Материалы и методы

Для определения цветовых характеристик различных пород древесины использовали атлас цветов, разработанный проф. Е.Б. Рабкиным [3]. Основой данного атласа цветов служит модель «цветового тела», имеющего форму двойного кругового конуса. Горизонтальная ось конуса является ахроматической осью тела и состоит из ряда ахроматических полей. Каждое сечение конуса, перпендикулярное его ахроматической оси, представляет собой равносветлотный цветовой круг, в котором в полярной системе координат отложены: по окружности — цветовые тона, по радиусу-вектору — насыщенность цвета. Радиальные сечения конического светового тела представляют собой таблицы, где по горизонтали справа налево отложена светлота, а по вертикальной оси, снизу вверх — насыщенность цвета. Поле, лежащее в вершине треугольника, обладает максимальной насыщенностью. Опре-

Т а б л и ц а 1

**Максимальные и минимальные значения показателей, характеризующих цвет древесины для пород, произрастающих на различных территориях**

**Maximum and minimum values of indicators characterizing the wood color for species growing on different territories**

Территория произрастания	Количество исследуемых образцов	Характеристики цвета						Белизна по ФБ-2, усл. ед.	
		Длина волны, Нм		Насыщенность, %		Светлота, %		max	min
		max	min	max	min	max	min		
Российская Федерация	41	596	580	57	25	59	10	66	16
Америка	29	597	583	57	21	49	10	68	16
Африка	70	597	577	62	22	69	10	65	15
Азия	20	597	583	48	16	48	12	56	19

Т а б л и ц а 2

**Отклонение максимальных и минимальных значений показателей цвета древесины от среднего значения для пород, произрастающих на различных территориях, %**

**The deviation of the maximum and minimum values of wood color indicators from the mean value for species growing on different territories, %**

Территория произрастания	Длина волны		Насыщенность		Светлота		Белизна	
	max	min	max	min	max	min	max	min
Российская Федерация	+1,18	-1,52	+46,15	-35,89	+90,32	-67,74	+78,37	-56,75
Америка	+1,35	-1,01	+46,15	-46,15	+58,06	-67,74	+83,78	-56,75
Африка	+1,35	-2,03	+58,97	-43,58	+122,58	-67,74	+75,67	-59,45
Азия	+1,35	-1,01	+23,07	-58,97	+54,83	-61,29	+51,35	-48,64

деление цветовых характеристик по атласу цветов осуществляется визуально.

С помощью фотоэлектрического блескомера ФБ-2 определяли показатель белизны  $R_n$ , который позволяет оценить количественно отражательные свойства исследуемых поверхностей пород древесины. Эта приборная характеристика по своей сути приближается к оценочному показателю светлоты, определяемому по атласу цветов.

Показатель белизны характеризует диффузное отражение света и используется в оценке белых поверхностей. Иногда его называют также термином «альbedo», который происходит от латинского прилагательного *albus* — «белый» и может быть переведен словом «белизна» [4].

Нами исследовались цветовые характеристики пород древесины, произрастающих на территории Российской Федерации, Америки, Африки, Азии. Исследуемые породы древесины составляют коллекцию образцов кафедры древесиноведения и технологии деревообработки Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана.

## Результаты и обсуждения

В табл. 1 приведены максимальные и минимальные значения показателей, характеризую-

щих цвет для пород древесины, произрастающих на различных территориях. Приведенные данные позволяют говорить о незначительной изменчивости цвета по длине видимого излучения. Так, изменение этого показателя по всем представленным образцам находится в интервале 577...597 нм, что соответствует оранжево-желтому (ближе к желтому) участку видимых лучей спектра. Изменчивость других показателей более существенна: показатель насыщенности цвета изменяется в пределах 16...62 %, светлота — 10...69 %, белизна по ФБ-2 — 16...68 единиц.

В табл. 2 приведены отклонения максимальных и минимальных значений показателей цвета древесины от среднего значения для пород, произрастающих на различных территориях. Приведенные данные подчеркивают незначительную изменчивость цветового тона, оцениваемого по длине волны отраженного видимого излучения. Отклонения от среднего значения составляют для этого показателя чуть более 2 %. Другие показатели, характеризующие цвет древесины, имеют значительные отклонения от среднего значения.

Из приведенных показателей насыщенности и светлоты по атласу цветов только последний предположительно должен иметь связь с показа-



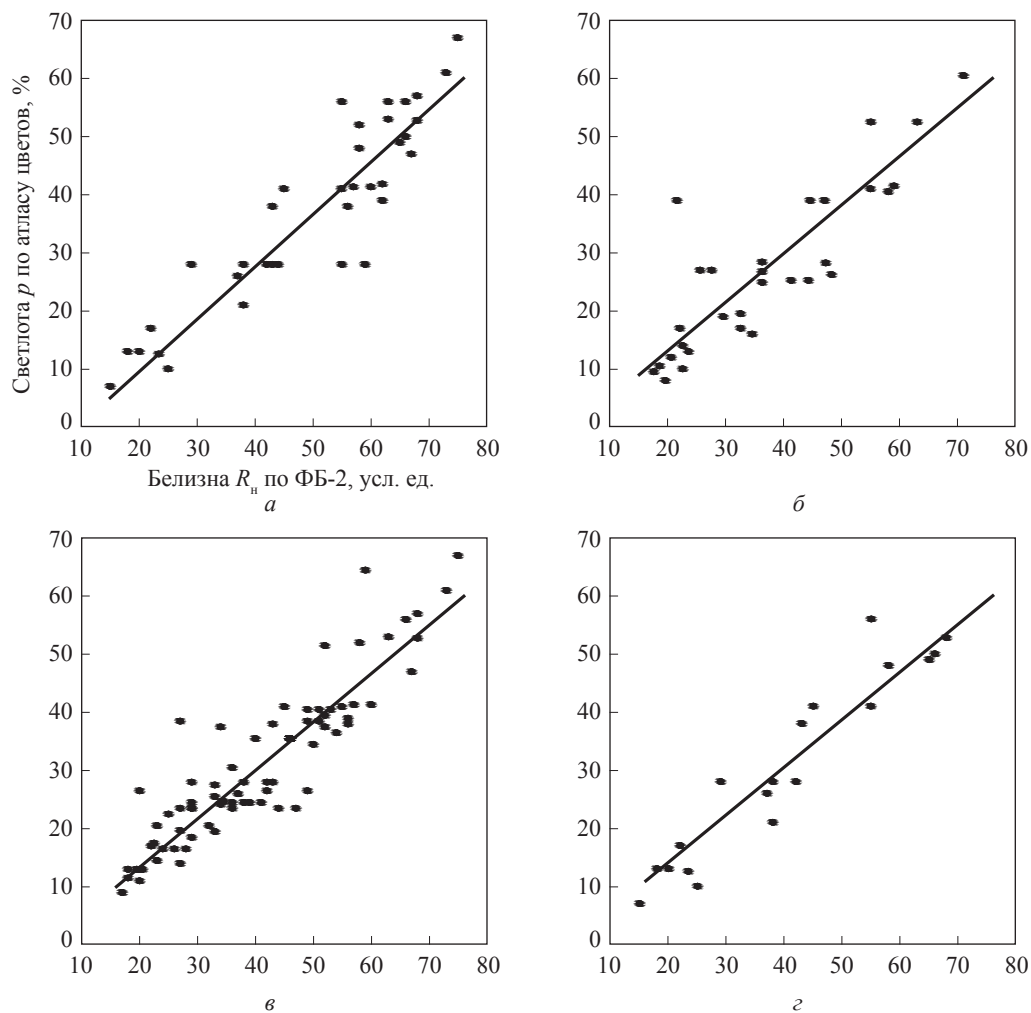


Рис. 1. Зависимость светлоты по атласу цветов от белизны по ФБ-2 поверхностей пород древесины, произрастающих: *а* — Российской Федерации; *б* — Америке; *в* — Африке; *г* — Азии  
 Fig. 1. Dependence of wood lightness according to the colour atlas on the FB-2 whiteness of the surfaces of wood species growing in: *a* — the Russian Federation; *b* — America; *c* — in Africa; *d* — Asia

телем белизны по ФБ-2. Они достаточно схожи, так как оценивают одну и ту же характеристику — общую отражательную способность исследуемой поверхности. Для определения взаимосвязи этих показателей были определены коэффициенты корреляции по каждой выборке образцов, приходящихся на территорию произрастания пород древесины. Результаты приведены на рис. 1. Как видно из графиков и приведенных уравнений, между светлотой и показателем белизны наблюдается связь, выражаемая уравнением прямой. Коэффициенты корреляции  $r$  по всем зависимостям имеют значения, близкие к единице, что указывает на теснейшую связь между этими показателями [5].

Углы наклона прямых на графиках для образцов Африки, Азии и Российской Федерации составляют соответственно  $41^{\circ}40'$ ,  $46^{\circ}7'$  и  $43^{\circ}32'$ , т. е. они примерно одинаковы. Отличается от них только зависимость, полученная

для образцов Америки: угол наклона прямой составляет  $36^{\circ}30'$ .

На рис. 1 помимо приведенных прямых линий нанесены точки, соответствующие фактическим значениям светлоты  $\rho$  и белизны  $R_n$  для изучаемых пород древесины. Это позволило сделать некоторые преобразования для представления полученных данных в полярных координатах [6], где радиус-вектор  $R$  является гипотенузой катетов соответственно светлоты и белизны поверхности древесины для определенного образца, а угол  $\alpha$  суть значения  $\arctg \rho/R_n$ . На рис. 2 представлены зависимости светлоты от белизны поверхности древесины в полярных координатах. Секторами определены зоны показателей светлоты-белизны образцов по территориям произрастания пород древесины. Максимальные и минимальные значения по каждому сектору характеризуют значение радиуса в полярных координатах, т. е. соответству-

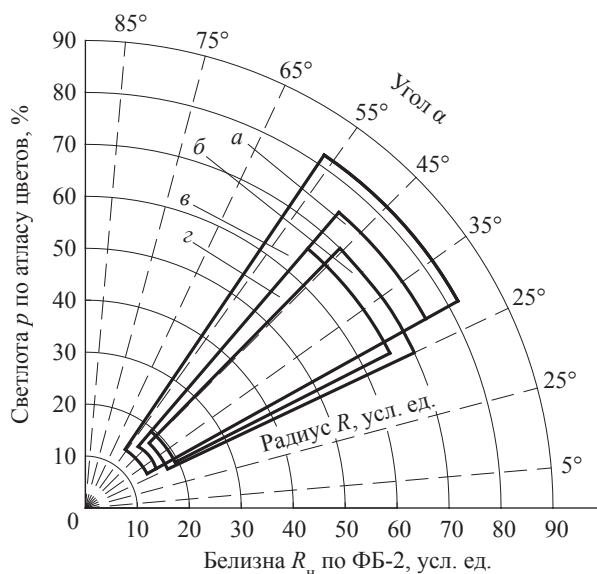


Рис. 2. Зависимость области определения светлоты поверхности по атласу цветов от белизны по ФБ-2 в полярных координатах для пород, древесины произрастающих: *a* — Российской Федерации; *b* — Америке; *c* — Африке; *d* — Азии

Fig. 2. Areas of determining the lightness of the surface according to the colour atlas from whiteness according to FB-2 in the polar coordinates of the wood species growing in: *a* — the Russian Federation; *b* — America; *c* — Africa; *d* — Asia

ют светлоте и белизне, приходящейся на фактическое значение этих показателей для образцов. Минимальные значения радиуса для всех секторов различаются незначительно и находятся в пределах 15–20 усл. ед. Максимальное значение радиуса приходится на сектор образцов, произрастающих на территории Африки, составляет более 80 усл. ед. Последующие секторы имеют максимальные значения радиуса для образцов пород древесины, произрастающих на территории: Российской Федерации — 75 усл. ед., Америки — 70 усл. ед. и Азии — 65 усл. ед. По угловой характеристике (угол  $\alpha$ ) секторы находятся в диапазоне от 25 до 57°, что составляет область значений в 32°. При этом наблюдается общая для всех образцов пород древесины, произрастающих на различных территориях, область, представляющая сектор от 30 до 50°. Это позволяет сделать вывод об одинаковой изменчивости показателей светлоты-белизны для образцов пород древесины, произрастающих на различных территориях.

### Выводы

Как было отмечено, на исследуемых поверхностях образцов различных пород древесины цветовой тон изменяется незначительно. С учетом этого факта и данных об изменчивости отражательной характеристики поверхностей пород древесины можно предположить, что цветовые характеристики древесины не зависят от климатической зоны произрастания дерева.

В основе образования древесинного вещества как строительного материала дерева лежит процесс фотосинтеза. Солнечный луч улавливается хлорофиллом, затем следует длинная цепочка реакций и в результате образуются сложные органические соединения [7]. Продуктом фотосинтеза является простейший углевод — моносахарид, путем дальнейших реакций он превращается в более сложные вещества, одно из которых — целлюлоза древесины. С помощью метода меченых атомов установлено, что помимо синтеза разнообразных веществ в целлюлозе происходит накопление достаточно большого количества энергии, более 300 кДж/моль [8, 9]. Такая энергетическая характеристика соответствует фиолетовой области видимых лучей. Передача этой накопленной энергии осуществляется хлорофиллом. Она расходуется строго по назначению и поглощается растущей тканью дерева — целлюлозой.

Известно, что если вещество поглощает лучи сине-фиолетовой области спектра (энергия этих лучей при фотосинтезе составляет примерно 300 кДж/моль), то это вещество будет отражать желтую область лучей видимого спектра [10, 11]. Это согласуется с результатами исследования: образцы пород древесины, произрастающих на различных территориях, характеризуются оранжево-желтым (ближе к желтому) цветом, следовательно, в растущем дереве поглощение энергии видимых лучей света формирует древесинное вещество желтого цвета (что и было получено в исследовании).

Цветовой тон древесины различных пород, произрастающих в Российской Федерации, Америки, Африки, Азии, изменяется незначительно и находятся в оранжево-желтой (ближе к желтой) области видимых лучей света. Можно предположить, что цветовой тон древесины не зависит от климатической зоны произрастания дерева.

Получена прямолинейная зависимость между показателем светлоты и белизны древесины. Изменчивость этих характеристик, представленная в полярных координатах, показала, что для всех образцов, независимо от территории произрастания, значения их находятся в одной области. Это позволяет говорить об одинаковой изменчивости светлоты и белизны древесины для пород, произрастающих на различных территориях.

### Список литературы

- [1] Лазарев Д.Н. Международный светотехнический словарь. М.: Русский язык, 1979. 276 с.
- [2] Уголев Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения: учебник для вузов. М.: Лесная пром-сть, 1986. 368 с.
- [3] Рабкин Е.Б. Атлас цветов. М.: Медгид, 1956. 42 с.
- [4] Шаронов В.В. Свет и цвет. М.: Физматгиз, 1961. 311 с.
- [5] Леонтьев Н.Л. Техника статических вычислений. М.: Лесная пром-сть, 1966. 246 с.
- [6] Бронштейн И.Н., Семендяев К.А. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов. М.: Наука, 1986. 544 с.
- [7] Кононов Г.Н. Химия древесины и ее основных компонентов: учебное пособие. М.: МГУЛ, 1999. 247 с.
- [8] Шульпин Г.Б. Химия для всех (основные понятия и простейшие опыты). М.: Знание, 1987. 144 с.
- [9] Фейнман Р. КЭД — странная теория света и вещества / пер. с англ. О.Л. Тиходеевой, С.Г. Тиходиева. М.: Наука, 1988. 144 с.
- [10] Фадеев Г.Н. Химия и цвет: Книга для внеклассного чтения. М.: Просвещение, 1983. 160 с.
- [11] Брилл Т. Свет. Воздействие на произведения искусства / пер. с англ. И.В. Пановой, Б.Д. Рыжикова, Н.Р. Сенагоровой; под ред. Л.В. Левшина. М.: Мир, 1983. 307 с.

### Сведения об авторах

**Рыбин Борис Матвеевич** — д-р техн. наук, профессор кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: rybin@mgul.ac.ru

**Завражнова Ирина Анатольевна** — старший преподаватель кафедры древесиноведения и технологии деревообработки МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: zavrazhnova@mgul.ac.ru

**Рыбин Дмитрий Борисович** — технолог ООО «Тимберланд», e-mail: wshsd@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 15.03.2017 г.

## THE PROBLEM OF DETERMINING THE COLOUR OF VARIOUS WOOD SPECIES

**B.M. Rybin<sup>1</sup>, I.A. Zavrazhnova<sup>1</sup>, D.B. Rybin<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup>Technologist of limited opportunity society «Timberland»,

141865, Moscow region, Dmitrovsky district, working settlement Nekrasovsky, Severnaya street, 10

rybin@mgul.ac.ru

The colour of the wood is one of the ornamental characteristics of its surface quality which is taken into consideration in the diagnosis of wood species. The quantification of wood colour is carried out on the colour tone, brightness and the colour purity. Colour tone is characterized by a wavelength of the reflected light flux. The purity of the colour or intensity is characterized by mixing the spectral colours with white. The purity of the colour as a physical index can be determined by the ratio of the chromatic colour to the total amount of light reflected from the surface. Lightness is determined by the reflectance index. The wood colour characteristics of some species have been identified by the researchers before, but at the time there was a limited number of tree species available for them. To determine the colour characteristics of 160 wood species they used the colour atlas developed by prof. E.B. Rubkin. The wood species studied grew in different regions and in different climatic zones. In addition to the colour atlas the researchers used the PG-2 photoelectric gloss meter. This meter allowed to determine the index of whiteness. The latter is inherently closer to a value of lightness which is determined by the colour atlas. The studies of wood species showed that except for the colour of tone, the other indicators have a considerable variability. The colour tone of the tested timber corresponds to the orange-yellow (closer to yellow) part of the spectrum. The work gives an important place to the coherent reasoning of this result. There has been made a conjectural conclusion which

explains the yellow surface of the wood species growing on the different territories. The correlation of lightness determined by the colour atlas and the whiteness measured with the photoelectric gloss meter has been found. The straight line equations with a high correlation coefficient have been obtained for wood samples of species growing in the Russian Federation, in the North and South America, in Africa and in Asia. The results obtained in polar coordinates give a clear representation of explaining the nature of wood colour when the trees under study grow in different climatic zones. The charts practically superimpose on one another, and this fact enables us to make the conclusion about the quantum electron theory of electromagnetic waves of visible sunlight which influence the process of wood growth and, thus, effect the formation of wood colour. The results can be used in basic research of wood as a natural material with inherent colour characteristics.

**Keywords:** wood hue, lightness, colour purity (value), whiteness.

**Suggested citation:** Rybin B.M., Zavrzhnova I.A., Rybin D.B. *K voprosu opredeleniya tsveta razlichnykh porod drevesiny* [The problem of determining the colour of various wood species]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 55–60. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-55-60

## References

- [1] *Mezhdunarodnyy svetotekhnicheskiy slovar'* [International Lighting Technical Dictionary. Third edition]. Moscow: Russkiy yazyk Publ., 1979, 276 p. (in Russian)
- [2] Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood Science with the Basics of Forest Goods Science]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1986, 368 p. (in Russian)
- [3] Rabkin E.B. *Atlas tsvetov* [Atlas of Colors]. Moscow: Medgid Publ., 1956, 42 p. (in Russian)
- [4] Sharonov V.V. *Svet i Tsvet* [Light and Color]. Moscow: Gosudarstvennoe izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury Publ., 1961, 311 p. (in Russian)
- [5] Leont'ev N.L. *Tekhnika staticheskikh vychisleniy* [Static computing technique]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966, 246 p. (in Russian)
- [6] Bronshteyn I.N. *Spravochnik po matematike dlya inzhenerov i uchashchikhsya vuzov* [A handbook on mathematics for engineers and university students]. Moscow: Nauka Publ., 1986, 544 p. (in Russian)
- [7] Kononov G.N. *Khimiya drevesiny i ee osnovnykh komponentov* [Chemistry of wood and its main components]. Moscow: MGUL Publ., 1999, 247 p. (in Russian)
- [8] Shul'pin G.B. *Khimiya dlya vseh (Osnovnye ponyatiya i prosteyshie opyty)* [Chemistry for all (Basic concepts and simplest experiments)]. Moscow: Znanie Publ., 1987, 144 p. (in Russian)
- [9] Feynman R. *KED - strannaya teoriya sveta i veshchestva* [QED is a strange theory of light and matter]. Moscow: Nauka Publ., 1988, 144 p. (in Russian)
- [10] Fadeev G.N. *Khimiya i tsvet* [Chemistry and color]. Moscow: Prosveshchenie Publ., 1983, 160 p. (in Russian)
- [11] Brill T. *Svet: vozdeystvie na proizvedeniya iskusstva* [Light: Effects on works of art]. Moscow: Mir Publ., 1983, 307 p. (in Russian)

## Author's information

**Rybin Boris Matveevich** — Dr. Sci. (Tech.), Prof. Department of Wood-and Wood Technology BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: rybin@mgul.ac.ru

**Zavrzhnova Irina Anatol'evna** — Senior Lecturer Department of Wood-and Wood Technology, BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: zavrzhnova@mgul.ac.ru

**Rybin Dmitriy Borisovich** — Technologist of limited opportunity society «Timberland», e-mail: wmmid@yandex.ru

Received 15.03.2017

## УСТАНОВКА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СИНТЕЗ-ГАЗА ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОТХОДОВ

Р.Г. Сафин, Р.С. Альмухаметов, А.Х.Х. Альджбури

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

safin@kstu.ru

Утилизация древесных отходов является актуальной задачей с точки зрения создания альтернативной биоэнергетики, так как в современном мире постоянно повышаются цены на традиционные виды топлива. Существуют разные методы утилизации древесных отходов с получением такого вида топлива, как синтез-газ. Наиболее эффективным методом утилизации является газификация, которая позволяет получать синтез-газ, широко применяемый в химической промышленности. На кафедре переработки древесных материалов КНИТУ разработана установка для получения из древесных отходов синтез-газа, который может применяться в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания

**Ключевые слова:** древесные отходы, газификация, синтез-газ, газогенератор

**Ссылка для цитирования:** Сафин Р.Г., Альмухаметов Р.С., Альджбури А.Х.Х. Установка для получения синтез-газа из древесных отходов // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 61–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-61-64

Низкий уровень технической оснащённости лесопромышленного комплекса является причиной образования большого количества древесных отходов. Ежегодно на предприятиях лесопромышленного комплекса России образуются миллионы тонн древесных отходов [1, 2]. Термическая переработка путем прямого сжигания с целью получения тепловой энергии считается наиболее простым способом утилизации древесных отходов. Экологические и социальные проблемы, энергетическая безопасность и цены на ископаемое топливо способствуют увеличению научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по возобновляемой биоэнергии. Особенно это касается технологии газификации биомассы, которая активно развивается и за последнее десятилетие, стала основой для производства синтез-газа, который может использоваться непосредственно или в качестве первичного сырья в промышленности для синтеза различных веществ [3]. Более сложными, но более эффективными способами переработки древесных отходов считаются методы газификации древесных отходов в жидкое либо газовое состояние с получением продуктов, востребованных химической и другими отраслями промышленности.

Газификация представляет собой высокотемпературный термохимический процесс взаимодействия органической массы с газифицирующими агентами, в результате чего образуются горючие газы. Один из таких продуктов, который можно получить путем прямоточной газификации древесных отходов, — это синтез-газ,

широко применяемый в химической промышленности [4, 5].

### Материалы и методы

На кафедре переработки древесных материалов КНИТУ была разработана установка для получения синтез-газа из древесных отходов, схема которой представлена на рис. 1. Для получения синтез-газа в модуле загрузки сырья установлен бункер 1, заполняемый древесными отходами. В качестве древесных отходов берут щепу с фракцией частиц по длине до 35 мм и по толщине до 5 мм (по ГОСТ 15815–83) и из бункера 1 с помощью ленточного конвейера 2 подают в бункер загрузки 3, соединенный непосредственно с газогенератором 4, что обеспечивает дозированную подачу древесной щепы в газогенератор. Включение конвейера и шнека в бункере загрузки проводится оператором вручную.

Процесс газификации в газогенераторе осуществляется и поддерживается за счет подачи газифицирующего агента, в качестве которого применяют кислород, вырабатываемый генератором кислорода адсорбционного типа 16 из воздуха. Внутри газогенератора (в верхней части) установлен датчик температуры Т2, целевая температура — 200°C. В средней части газогенератора установлен датчик температуры Т1. При достижении внутри газогенератора температуры 1050°C датчик посылает сигнал на привод регулирующего клапана 15, который открывается для подачи водяного пара с целью снижения температуры внутри аппарата. При снижении температуры до 1000°C клапан закрывается. На выходном трубопроводе из газогенератора уста-

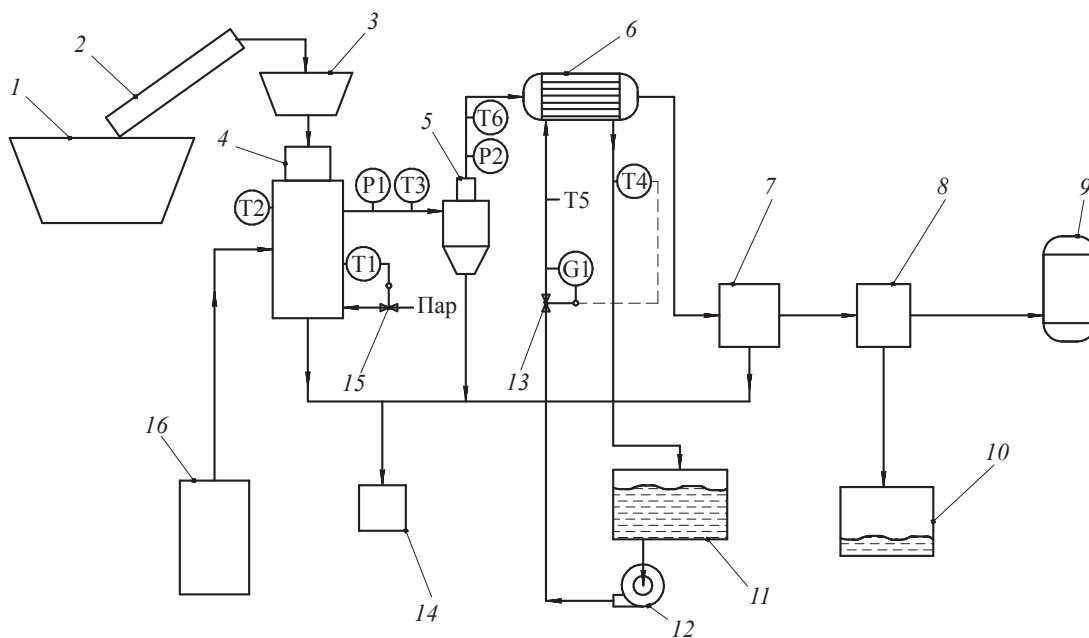


Рис. 1. Установка для получения синтез-газа из древесных отходов  
 Fig. 1. Plant for the synthesis of gas from wood waste

новлены датчик температуры T3 и датчик давления P1.

К выходному трубопроводу газогенератора подсоединен цилиндрический циклон 5, который обеспечивает очистку газов от крупных частиц золы и пыли. Выход циклона соединен с рекуперативным кожухотрубным теплообменником 6, который охлаждает генераторный газ с 800 до 80 °С. Охлаждение смеси газов в рекуперативном кожухотрубном теплообменнике осуществляется водой, подаваемой насосом 12 из бассейна 11. Газ поступает в трубное пространство теплообменника, а вода — в межтрубное. Подача воды в теплообменник регулируется клапаном 13, который, в свою очередь, регулируется датчиком температуры T4, стоящим на выходном трубопроводе теплообменника. При температуре газа на выходе из теплообменника 85 °С и выше датчик T4 подает сигнал на привод клапана 13, который плавно меняет положение открытия клапана до тех пор, пока температура газа не понизится до 80 °С. При достижении температуры газа 80 °С и ниже датчик T4 подает сигнал на отключение привода клапана. Для контроля температуры входящей в теплообменник воды установлен показывающий датчик температуры T5. Для контроля давления входящего в теплообменник газа установлен датчик давления P2, а для контроля температуры — датчик T6.

Для более высокой степени очистки газов от мелких частиц установлен фильтр тонкой очистки сухого типа с волокнистыми очистителями

7, позволяющий улавливать частицы размерами до 5 мкм. Образованные в фильтре тонкой очистке, цилиндрическом циклоне и непосредственно в газогенераторе частицы золы поступают в золосборник 14. Далее установлен осушитель холодильного типа 8, осуществляющий конденсацию водяных паров содержащихся в газовом потоке. Сконденсированная влага поступает в отстойник воды 10, а синтез-газ в ресивер 9.

## Результаты и обсуждения

Полученный синтез-газ имеет следующие параметры.

Избыточное давление, МПа не более.....	0,5
Состав газа, %:	
CO .....	29,5 ± 0,5
CH <sub>4</sub> .....	0,54 ± 0,01
N <sub>2</sub> .....	1,15 ± 0,01
CO <sub>2</sub> .....	1,0 ± 0,01
H <sub>2</sub> .....	67,81 ± 0,5
Плотность газа, кг/м <sup>3</sup> .....	0,47
Соотношение компонентов (H <sub>2</sub> :CO).....	2,3:1

Процесс газификации древесных отходов весьма сложен. Это обусловлено сложной химической структурой древесных отходов и тем, что под воздействием высокой температуры происходят изменения на молекулярном уровне, которые способствуют образованию новых трудноконтролируемых соединений и углеводородов [6].

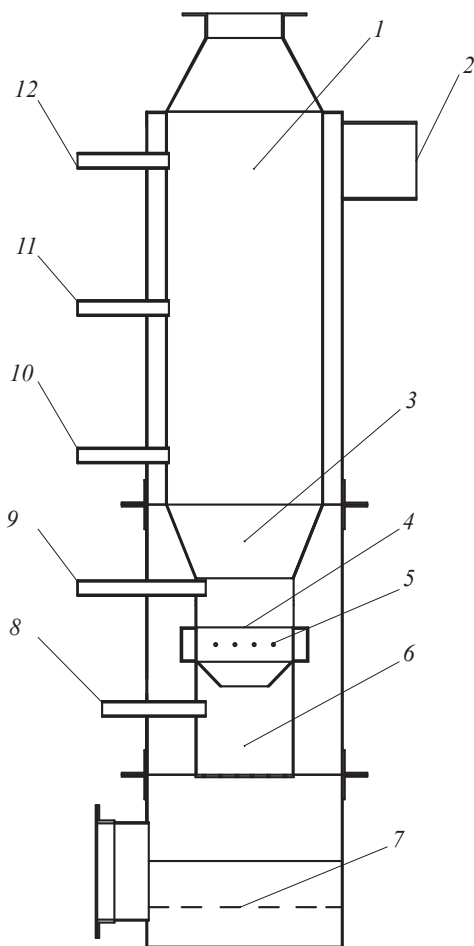


Рис. 2. Газогенератор прямооточного процесса газификации

Fig. 2. A gasifier of the direct-flow gasification process

В данной установке для получения синтез-газа был выбран газогенератор прямооточного процесса газификации (рис. 2.)

Газогенератор разделен на 4 зоны: подсушки, сухой перегонки, горения, восстановления.

Зона подсушки 1 находится в верхней части газогенератора. В этой зоне температура порядка 150...200 °С. Древесные отходы подсушиваются горячим газом.

Зона сухой перегонки 3 расположена в средней части газогенератора. В этой зоне происходит пиролиз древесных отходов при температуре 300...500 °С без доступа воздуха. Из древесины выделяются кислоты, смолы и другие элементы сухой перегонки.

Зона горения 4 находится там, где расположены фурмы 5, через которые поступает окислитель. Здесь при температуре 1100...1300 °С обугленное топливо и элементы сухой перегонки сгорают, в результате чего образуются газы CO и CO<sub>2</sub>.

Зона восстановления 6 расположена между колосниковой решеткой 7 и зоной горения. Здесь

газ CO<sub>2</sub> проходит через раскаленный уголь и взаимодействует с углеродом C, в результате на выходе образуется оксид углерода CO. В данном процессе также участвует влага из древесных отходов, поэтому помимо CO образуются водород H<sub>2</sub> и метан CH<sub>4</sub> [7, 8]. Полученный газ отводится через газоотводящий патрубок 2. Весь процесс регулируется датчиками температуры 8–12.

В зонах горения и восстановления происходит активная газификация.

## Выводы

Полученный газ состоит из нескольких компонентов. Его состав:

— горючие газы: водород H<sub>2</sub>, метан CH<sub>4</sub>, оксид углерода CO, и непредельные углеводороды без смол C<sub>n</sub>H<sub>m</sub>;

— балласт: углекислый газ CO<sub>2</sub>, азот N<sub>2</sub>, вода H<sub>2</sub>O.

Генераторный газ, полученный в процессе газификации древесных отходов, можно использовать в качестве топлива в двигателях внутреннего сгорания для производства электрической энергии [9].

## Список литературы

- [1] Гонопольский А.М., Федоров Л.Г., Щепило Л.В. Твердые бытовые отходы как энергетическое топливо // Инженерная защита окружающей среды: сб. докладов междунар. конф., Москва, 2002 г. М.: МГУИЭ, 2002. 244 с.
- [2] Тимербаев Н.Ф. Комплексная энерготехнологическая переработка древесных отходов с применением прямооточной газификации. Казань: КНИТУ, 2011. 252 с.
- [3] Тимербаев Н.Ф., Исаков Т.Д., Сафин Р.Г. Экспериментальная установка для исследования взаимосвязанных процессов термического разложения и выгорания летучих // Матер. науч.-практ. конф. «Проблемы использования и воспроизводства лесных ресурсов», Казань, 2006 г. Казань: КНИТУ, 2006. С. 190–192.
- [4] Грачев А.Н., Башкиров В.Н., Сафин Р.Г. Использование отходов деревообрабатывающих предприятий в качестве дополнительного источника тепловой энергии // Всерос. науч.-практ. конф. «Химико-лесной комплекс — проблемы и решения», Красноярск, 2002 г. Красноярск: СИБГТУ, 2002. Т. 2. С. 286–288.
- [5] Тимербаев Н.Ф., Сафин Р.Г., Саттарова З.Г. Техника и технологии термической переработки отходов деревообрабатывающей промышленности. Казань: КГТУ, 2010. 172 с.
- [6] Головина Е.С. Высокотемпературное горение и газификация углерода. М.: Энергоатомиздат, 1983. 176 с.
- [7] Саламонов А.А. Установки для сжигания и газификации древесных отходов // Промышленная энергетика, 1985. № 2. С. 52–54.
- [8] Сафин Р.Г. Технологические процессы и оборудование деревообрабатывающих производств: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2003. Ч. 2. 500 с.
- [9] Тимербаев Н.Ф., Грачев А.Н., Сафин Р.Г. Исследование процесса горения древесных материалов: метод. указания к лабораторным работам. Казань: КГТУ, 2005. С. 16.

## Сведения об авторах

**Сафин Рушан Гареевич** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: safin@kstu.ru

**Альмухаметов Ринат Саубанович** — научный сотрудник кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: rinat.almukhametov@mail.ru

**Альджури Ахмед Хуссейн Хассан** — научный сотрудник кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: ahmed\_hassan\_978@yahoo.com

Статья поступила в редакцию 24.01.2017 г.

## INSTALLATION FOR PRODUCING SYNTHESIS GAS FROM WOOD WASTE

**R.G. Safin, R.S. Almukhametov, A.H.H. Al-Gburi**

Kazan National Research Technological University (KNRTU), Karla Marksa st., 68, 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
safin@kstu.ru

Utilization of wood waste is an urgent problem in terms of the creation of alternative bioenergy as the prices for traditional fuels are continuously rising in the modern world. In this connection, there are different methods of wood waste disposal to obtain such a fuel as synthesis gas. The most effective method of disposal is gasification which provides a synthesis gas, widely used in the chemical industry. At the Department of processing wood materials in KNRTU, the installation to produce synthesis gas from wood waste has been designed. This plant produces syngas which may be used as fuel in the internal combustion engine.

**Keywords:** wood waste, gasification, synthesis gas, a gasifier.

**Suggested citation:** Safin R.G., Almukhametov R.S., Al-Gburi A.H.H. *Ustanovka dlya polucheniya sintez-gaza iz drevesnykh otkhodov* [Installation for producing synthesis gas from wood waste]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 61–64. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-61-64

## Reference

- [1] Gonopol'skiy A.M., Fedorov L.G., Shchepillo L.V. *Tverdye bytovye otkhody kak energeticheskoe toplivo* [Solid domestic waste as energy fuel] Engineering protection of the environment: a collection of reports of an international conference. Moscow: MGUE Publ., 2002. 244 p. (in Russian)
- [2] Timerbaev N.F. *Kompleksnaya energotekhnologicheskaya pererabotka drevesnykh otkhodov s primeneniem pryamotokhnoy gazifikatsii* [Complex energy-technological processing of wood waste with the use of direct-flow gasification]. Kazan: KNITU Publ., 2011. 252 p. (in Russian)
- [3] Timerbaev N.F., Iskhakov T.D., Safin R.G. *Eksperimental'naya ustanovka dlya issledovaniya vzaimosvyazannykh protsessov termicheskogo razlozheniya i vygoraniya letuchikh* [Experimental setup for the investigation of interrelated processes of thermal decomposition and burning out of volatile] Materials of the scientific practical conference "Problems of use and reproduction of forest resources". Kazan.: KNITU 2006. pp. 190-192. (in Russian)
- [4] Grachev A.N., Bashkirov V.N., Safin R.G. *Ispol'zovanie otkhodov derevoobrabatyvayushchikh predpriyatii v kachestve dopolnitel'nogo istochnika teplovooy energii* [The use of waste woodworking enterprises as an additional source of thermal energy] All-Russian Scientific and Practical Conference "Chemical and forest complex - problems and solutions". Krasnoyarsk: SIBSTU, 2002. pp. 286-288. (in Russian)
- [5] Timerbaev N.F., Safin R.G., Sattarova Z.G. *Tekhnika i tekhnologii termicheskoy pererabotki otkhodov derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Techniques and technologies of thermal processing of woodworking industry waste]. Kazan: KSTU Publ., 2010. 172 p. (in Russian)
- [6] Golovina E.S. *Vysokotemperaturnoe gorenje i gazifikatsiya ugleroda* [High-temperature combustion and gasification of carbon]. Moscow: Energoatomizdat Publ., 1983. 176 p. (in Russian)
- [7] Salamonov A.A. *Ustanovki dlya szhiganiya i gazifikatsii drevesnykh otkhodov* [Installations for the incineration and gasification of wood waste] *Industrial energy*, 1985, no. 2. pp. 52-54. (in Russian)
- [8] Safin R.G. *Tekhnologicheskie protsessy i oborudovaniya derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Technological processes and equipment of woodworking industries]. Moscow: MGUL Publ., 2003. 500 p. (in Russian)
- [9] Timerbaev N.F., Grachev A.N., Safin R.G. *Issledovanie protsessa goreniya drevesnykh materialov* [Investigation of the combustion of wood materials] *Methodical instructions to laboratory works*. Kazan: KSTU Publ., 2005, pp. 16. (in Russian)

## Author's information

**Safin Rushan Gareevich** — Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chair of Department Wood Processing of Kazan National Research Technological University, e-mail: safin@kstu.ru

**Al'mukhametov Rinat Saubanovich** — Undergraduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: rinat.almukhametov@mail.ru

**Al'dzhburi Akhmed Khusseyin Khassan** — Undergraduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: ahmed\_hassan\_978@yahoo.com

Received 24.01.2017



## ЭКСТРАГИРОВАНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ИЗ КОРЫ ОСИНЫ

Р.Г. Сафин, Д.Ф. Зиятдинова, Г.Р. Арсланова

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

safin@kstu.ru

В настоящее время наблюдается тенденция к использованию препаратов на основе лекарственных растений, так как риск развития побочных эффектов и стоимость их ниже, чем у синтетических лекарственных препаратов. Еще одним плюсом растительных лекарств является возможность использования коры, листьев и почек. На производстве эти части деревьев идут в отходы, а употребление коры, листьев и почек в фармакологии позволяет использовать древесину более полно и рационально. Ценные вещества есть во многих породах, в том числе в осине. Кора и листья осины содержат биологически активные вещества, в частности салицин, который входит в состав некоторых лекарственных препаратов. Салицин можно выделить из осины экстрагированием. Проведены эксперименты по экстрагированию коры осины (*Populus tremula*). Первоначально сырье высушивалось и измельчалось на разных оборудованьях до фракций размером 0,5...1, 2...3 и 5...8 мм. Экстрагирование проводилось методом противоточной рекуперации в пяти перколяторах, в качестве экстрагента использовался 40 %-ный этиловый спирт. Из каждого перколятора брали пробу объемом 20 мл для определения концентрации сухого остатка салицина. Выявлено, что выход сухого остатка зависит от степени измельченности. Наибольший выход салицина получили при экстрагировании коры из фракции с размерами 0,5...1 мм.

**Ключевые слова:** экстракция, кора, осина, биологически активные вещества, салицин, сухой остаток

**Ссылка для цитирования:** Сафин Р.Г., Зиятдинова Д.Ф., Арсланова Г.Р. Экстрагирование биологически активных веществ из коры осины // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 65–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-65-69

На деревоперерабатывающих предприятиях ветви, зелень и кора являются отходами и не находят полезного применения [1]. Однако эти части древесины содержат в себе множество ценных компонентов, таких как эфирные масла, дубильные вещества, ароматические кислоты и т. д. [2]. Данные компоненты можно получить путем экстрагирования.

### Методы и исследования

На кафедре переработки древесных материалов КНИТУ изучены различные методы экстрагирования древесного сырья [3], проведены исследования химического состава экстрактивных веществ [4], разработана экспериментальная установка по проведению процесса экстрагирования [5]. В качестве материалов для исследований использовались древесина, кора и зелень хвойных и лиственных пород. В настоящее время интерес представляет осина, так как эта порода знаменита своими полезными свойствами.

Осина (лат. *Populus tremula*) — вид лиственных деревьев из рода тополь, семейство ивовые; широко распространена в лесах России. В ее коре множество биологически активных веществ: ароматические и жирные кислоты, дубильные вещества, углеводы (рафиноза, фруктоза) и фенолгликозиды. Почки осины содержат эфирные масла, смолы, флавоны и минеральные соли. Листья осины богаты витамином С, каротином, каротиноидами и различными ферментами [6]. Такое

большое количество полезных веществ попадает в кору, почки и листья благодаря особенностям корней осины. Они обнажены, не ветвисты и уходят глубоко в почву, а чем глубже корень, тем больше лечебных свойств у растения.

Экстракты из коры осины используются много лет в народной и традиционной медицине. Препараты, содержащие экстракт коры осины, обладают противовоспалительными, жаропонижающими, желчегонными, гепатозащитными, противомикробными, противокашлевыми и антигельминтными свойствами [7]. Сочетание противомикробных и противовоспалительных свойств делает кору осины перспективной в комплексном лечении туберкулеза, оспы, малярии, сифилиса, дизентерии, воспаления легких, кашля различного происхождения, ревматизма и воспаления слизистой оболочки мочевого пузыря [8]. В медицине Западной Европы кора осины применяется для лечения заболеваний мочевого пузыря, простаты, а также при головной боли и язвах [9].

Наибольший интерес представляют биологически активные вещества, принадлежащие к классу гликозидов, а именно фенольные гликозиды, в частности салицин и его производные. Салицин (Salicin) — кристаллический гликозид салицилового спирта. Имеет горький вкус, нейтральную реакцию. В отличие от синтетического салицина, не оказывает раздражающего действия на желудочно-кишечный тракт [10].



Рис. 1. Внешний вид сырья различной измельченности  
 Fig. 1. The appearance of aspen bark with different types of disintegration

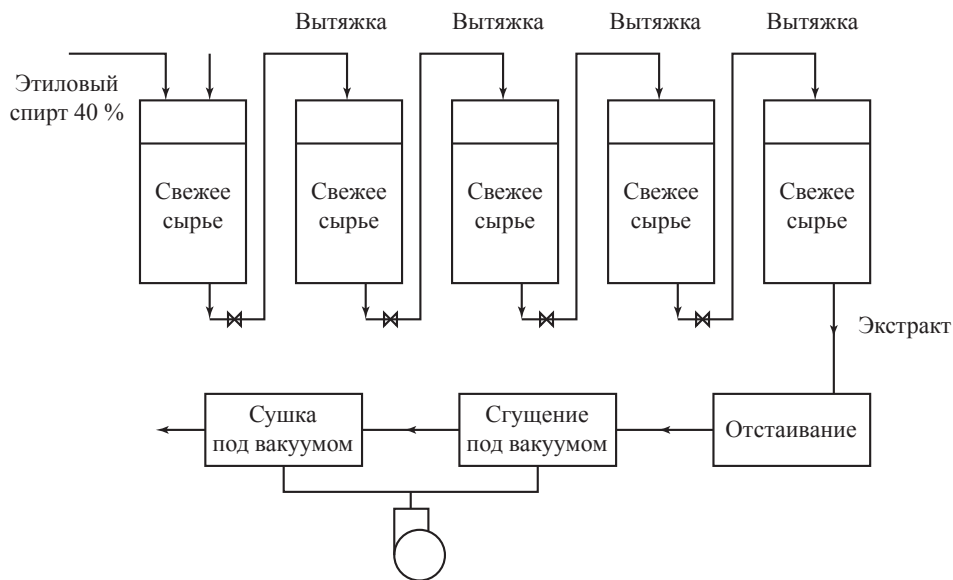


Рис. 2. Технологическая схема процесса экстракции коры осины  
 Fig. 2. The technological scheme of the aspen bark extraction

Терапевтическое значение основано на окислении салицина в организме до салициловой кислоты [11–13]. Целью нашего исследования являлось получение сухого остатка при экстракции коры осины разной измельченности методом противоточной реперколяции в 5 перколяторах 40 %-ным этиловым спиртом.

Исследования по экстрагированию коры осины проводились на базе кафедры переработки древесных материалов КНИТУ. Материалом для экспериментов послужила кора молодой осины, не зараженная грибковыми заболеваниями, собранная в Пригородном лесхозе Республики Татарстан. Первоначально кора высушивалась в течение нескольких дней при комнатной температуре в лаборатории кафедры. Затем материалы измельчались на различном оборудовании (рис. 1, 2).

Первую партию измельчали на барабано-ножевой дробилке до размера 0,5...1 мм. Вторую партию — на молотковой дробилке до размера 2...3 мм. И, наконец, третью пар-

тию измельчали вручную до размера фракций 5...8 мм (см. рис. 1). Затем проводили сам процесс экстракции по методу противоточной реперколяции в 5 перколяторах, в качестве экстрагента использовали 40 %-ный этиловый спирт при соотношении сырье: экстрагент, равном 1:2,5. Технологическая схема процесса представлена на рис. 2.

### Результаты и обсуждение

Из литературных источников известно [14], что применение данной концентрации этилового спирта обеспечивает большую устойчивость препарата в процессе экстракции по сравнению с 20 %-ным этанолом и меньший расход этилового спирта, по сравнению с 60 % и 80 %. Процесс происходит следующим образом: в первый перколятор загружают измельченную кору, заливают экстрагентом «до зеркала» (экстрагент выше поверхности сырья на несколько миллиметров) и настаивают в течение 10 ч. По истечении этого времени из первого перколятора

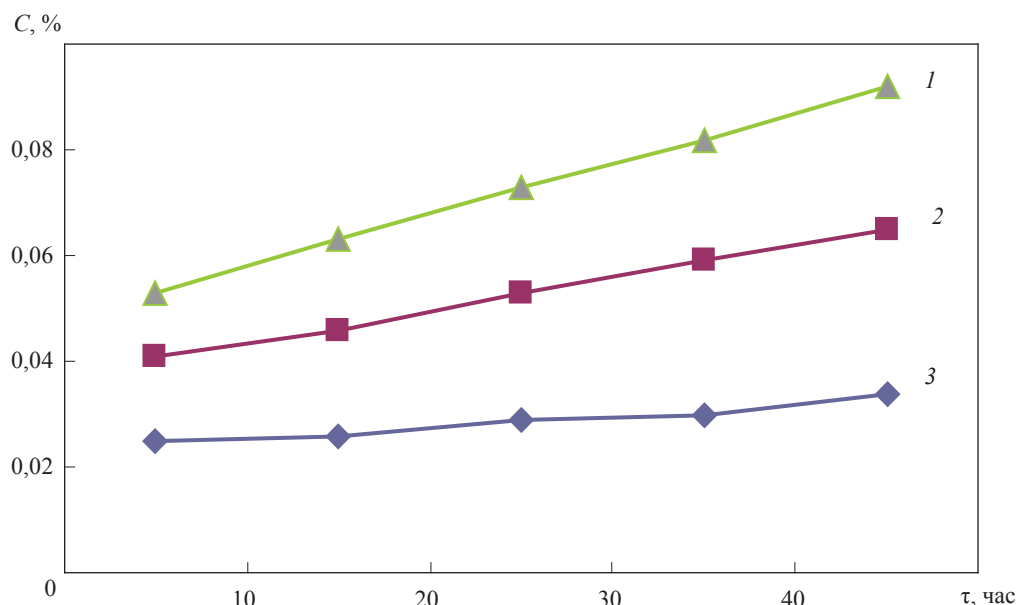


Рис. 3. Кинетические значения концентрации *C* салицина, фракции: 1 — 0,5...1 мм; 2 — 2...3 мм; 3 — 5...8 мм  
 Fig. 3. Kinetic values of *C* concentration of salicin, fractions: 1 — 0,5...1 mm; 2 — 2...3 mm; 3 — 5...8 mm

сливают вытяжку и заливают в предварительно загруженный корой второй перколятор. Недостающее «до зеркала» количество экстрагента заливают свежим 40 %-ным этиловым спиртом. Затем процесс идет по аналогии: вытяжка из второго перколятора является экстрагентом для третьего перколятора и т. д. Экстрагент движется противотоком по перколяторам со свежим сырьем и насыщается биологически активными веществами. После ввода в работу всех перколяторов батареи, из пятого перколятора отбирают все пять порций готовой вытяжки, выводя поочередно начальные перколяторы. Полученный экстракт в течение 3 суток отстаивают, а потом фильтруют. На следующем этапе очищенный экстракт сгущают в вакуум-выпарном шкафу в течение 16 ч при температуре 32 °С и сушат в вакуум-сушильном шкафу при температуре 40 °С в течение 6 ч. Повышенная температура неблагоприятно влияет на биологически активные вещества, так как они являются термолабильными. Этим и обусловлены использование вакуумного оборудования и выбор данного диапазона температуры [15].

В соответствии с приведенной методикой проведены эксперименты по экстрагированию коры осины различной степени измельченности. В течение экстрагирования при сливе вытяжек из каждого перколятора брали пробу 20 мл, которую потом сгущали и сушили по описанному выше принципу. После сушки каждую пробу взвешивали для определения концентрации сухого остатка. Затем по этим данным был построен график (рис. 3).

## Выводы

Препараты на основе лекарственного сырья используются в качестве замены синтетических препаратов. Они обладают рядом преимуществ: уменьшается риск возникновения побочных эффектов, лечение является более безопасным. Кроме того, изготовление лекарственных препаратов на основе биологически активных веществ позволяет частично устранить проблему по рациональному использованию древесных отходов. Терапевтическое значение препаратов основано на окислении салицина в организме до салициловой кислоты. Выход сухого остатка салицина зависит от степени измельченности исходного сырья (рис. 3). Сухой остаток наибольшей концентрацией салицина был получен из коры измельченностью 0,5...1 мм.

## Список литературы

- [1] Садртдинов А.Р. Теплоэнергетическая переработка отходов растительного происхождения // Вестник Казанского технологического университета, 2015. Т. 18. № 20. С. 255–256.
- [2] Галяветдинов Н.Р., Воронин А.Е. Переработка древесной зелени с последующим получением полезных продуктов // Вестник технологического университета, 2014. Т. 17. № 15. С. 234–236.
- [3] Сафин Р.Г. Повышение эффективности экстракции эфирных масел водяным паром // Вестник технологического университета, 2015. Т. 18. № 8. С. 256–258.
- [4] Воронин А.Е., Зиятдинова А.Р. Способы получения полезных продуктов из отходов деревопереработки, преимущественно древесной зелени. М.: Деревообрабатывающая пром-сть, 2012. 32 с.

- [5] Макаров А.А. Исследование химического состава экстрактивных веществ березы и сосны при торрефикации // Вестник технологического университета, 2015. Т. 18. № 15. С. 248–250.
- [6] Турецкова В.Ф. Осина обыкновенная как перспективный источник получения препаратов противозвенного и противовоспалительного действия // Бюллетень сибирской медицины, 2011. Т. 10. № 5. 340 с.
- [7] Пономарев В.Д. Экстрагирование лекарственного сырья. М.: Медицина, 1976. 202 с.
- [8] Гаврилина М.В. Разработка, исследование и маркетинг новой фармацевтической продукции: сб. науч. тр. Вып. 65. Пятигорск: Пятигорская ГФА, 2010. 838 с.
- [9] Турецкова В.Ф. Экстракционные препараты из сырья растительного и животного происхождения: учеб. пособие. Барнаул: АГМУ, 2007. 268 с.
- [10] Муравьев И.А. Технология лекарств. М.: Медицина, 1980. 395 с.
- [11] Бледных И.А. Исследование влияния техногенного загрязнения на состав экстрактов на основе коры осины // Сборник статей студентов, аспирантов и молодых ученых по итогам Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск: СИБГТУ, 2012. 286 с.
- [12] Струпант Е.А., Полонский В.И., Демиденко Г.А. Технология получения экстрактов из дикорастущего растительного сырья, применяемого в пищевой промышленности и фитотерапии // Вестник КрасГАУ, 2015. № 11. 243 с.
- [13] Садртдинов А.Р., Исмагилова Л.М., Мухаметзянов Р.Р. Перспективные направления переработки неликвидной древесной биомассы лесозаготовок и деревообработки // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика, 2014. Т. 2. № 2–3 (7–3). С. 117–119.
- [14] Жматова Г.В., Нефёдов А.Н., Гордеев А.С., Килимник А.Б. Методы интенсификации технологических процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья // Вестник ТГТУ, 2005. Т. 11. № 3. 1085 с.
- [15] Новикова И.В., Агафонов Г.В., Корниенко Т.С. Исследование скорости экстрагирования компонентов из древесного сырья // Вестник ВГУИТ, 2012. № 3. 197 с.

## Сведения об авторах

**Сафин Рушан Гареевич** — д-р техн. наук, профессор, кафедрой зав. переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: safin@kstu.ru

**Зиятдинова Диляра Фарилловна** — д-р техн. наук, профессор кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: ziatdinova2804@gmail.com

**Арсланова Гульшат Ринатовна** — магистрант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: 94arslanovagulshat@mail.ru

Статья поступила в редакцию 18.11.2016 г.

## THE EXTRACTION OF BIOLOGICALLY ACTIVE SUBSTANCES FROM ASPEN BARK

**R.G. Safin, D.F. Ziatdinova, G.R. Arslanova**

Kazan National Research Technological University (KNRTU), Karla Marksa st., 68, 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
safin@kstu.ru

Today the use of pharmaceuticals produced from medicinal plants is a popular trend. Unlike synthetic medicaments, they have a low percentage of side effects. Galenicals are safe, and their price is cheaper. Another advantage is the possibility to use tree bark, leaves and buds. As at a plant or a factory these parts of trees go to waste, the use of bark and leaves in pharmacology allows to make wood processing more comprehensive and rational. Aspen bark contains biologically active substances — salicin which is the basis of certain medications. At the Department of wood material processing in KNRTU, some experiments on the extraction from aspen bark (*Populus tremula*) have been carried out. First, the raw bark was dried and reduced to the following fractions: 1) 0,5...1 mm; 2) 2...3 mm; 3) 5...8 mm. Then the extraction was carried on by means of counter-flow recuperation in five percolating filters, the extraction solvent being 40 % ethanol. During the experiments a sample of 20 ml was taken from each percolating filter to determine the concentration of salicin evaporated residue. After the experiment was over it was found that the salicin evaporated residue depended on the disintegration fineness. When extracting fractions of 0,5...1 mm, the highest salicin evaporated residue was produced.

**Keywords:** extraction, bark, aspen, biologically active substances, salicin, evaporated residue.

**Suggested citation:** Safin R.G., Ziatdinova D.F., Arslanova G.R. *Ekstragirovanie biologicheski aktivnykh veshchestv iz kory osiny* [The extraction of biologically active substances from aspen bark]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 65–69. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-65-69

## References

- [1] Sadrtidinov A.R. *Teploenergeticheskaya pererabotka othodov rastitelnogo proishozhdeniya* [Heat Energy Recycling plant waste] Bulletin of Kazan Technological University, 2015, vol. 18, no. 20. pp. 255-256. (in Russian)
- [2] Galavetdinov N.R., Voronin A.E. *Pererabotka drevesnoy zeleni s posleduyshim polecheniem poleznych produktov* [Processing of wood greens to produce mineral products] Bulletin of Kazan Technological University, 2014, v. 17, no. 15, pp. 234. (in Russian)
- [3] Safin R.G., Voronin A.E., Nazipova F.V., Ahunova L.V. *Povishennaya effektivnost' ekstraktsii efirnih masel vodyanim parom* [Improving the efficiency of essential oils extracted by steam] Bulletin of Kazan Technological University, 2015, v. 18, no. 8, pp. 185. (in Russian)
- [4] Voronin A.E., Ziyatdinova A.R. *Sposobi polycheniya poleznych produktov iz othodov derevopererabotki, preimyshestvenno drevesnoy zeleni* [Methods for producing useful products from waste timber]. Moscow: Woodworking industry Publ., 2012, 32 p. (in Russian)
- [5] Makarov A.A., Pushkin C.A., Grachev A.N., Kozlova L.V., Gorshkova T.A. *Issledovanie himicheskogo sostava ekstraktivnih veshchestv berezi I sosni pri torrefikatsii* [The study of the chemical composition of extractives of birch and pine with torrefikatsii] Bulletin of Kazan Technological University, 2015, v. 18, no. 15, 250 p. (in Russian)
- [6] Tyretskova V.F., Lobanova I.U., Rassipnova S.S., Talikova N.M. *Osina obiknovennaya kak perspektivnyi istochnik polycheniya preparatov protivovozpалitelnogo I protivovospalitel'nogo deystviya* [Aspen ordinary as a promising source of drugs against voyazvenno-go-and anti-inflammatory action] Bulletin of Siberian medicine, 2011, v. 10, no. 5, 290 p. (in Russian)
- [7] Ponomarev V.D. *Ekstragirovanie lekarstvennogo sirya* [Extraction medicinal plant] Moscow: Medicine Publ., 1976, 202 p. (in Russian)
- [8] Gavrilina M.V. *Razrabotka, issledovanie i marketing novoy farmatsevticheskoy produktsii* [Development, research and marketing of new pharmaceutical products] Collection of scientific papers. Pyatigorsk, 2010, no. 65, 838 p. (in Russian)
- [9] Tyretskova V.F. *Ekstraktsionnye preparaty iz sirya rastitelnogo I zhivotnogo proishozhdeniya* [Extraction of raw products of plant and animal origin]. Barnaul: Altai State Medical University Publ., 2007, 268 p. (in Russian)
- [10] Murav'ev I.A. *Tehnologiya lekarstv* [Technology of medicines]. Moscow: Medicine Publ., 1980, 395 p. (in Russian)
- [11] Blednykh I.A. *Issledovaniye vliyaniye tehnogennogo zagryazneniya na sostav ekstraktov na osnove kory osiny* [Research of influence of anthropogenic pollution on the composition of the extracts on the basis of aspen bark] Collected articles of students, graduate students and young scientists on the results of the All-Russian scientific-practical conference. Krasnoyarsk: Siberian State Technological University Publ., 2012, 286 p. (in Russian)
- [12] Strupant E.A., Polonski V.I., Demidenko G.A. *Tehnologiya polucheniya ekstraktov iz dikorastushhego rastitel'nogo sirya, primenaemogo v pishевой promishlennosti I fitoterapii* [The technology of obtaining extracts from wild-growing vegetative raw materials used in food and herbal medicine] Bulletin of Krasnoyarsk State Agrarian University, 2015, no. 11, 243 p. (in Russian)
- [13] Sadrtidinov A.R. *Persoektivnie napravleniya pererabotki nelikvidnyy drevesinuy biomassi lesozagotovok I derevoobrabotki* [Perspective directions illiquid processing woody biomass harvesting and wood processing] Current research trends of the XXI century: Theory and Practice, 2014, v. 2, no. 2-3 (7-3), pp. 117-119. (in Russian)
- [14] Zhmatova G.V., Nefedov A.N., Gordeev A.S., Klimnik A.B. *Metodi intensivifikatsii tehnologicheskikh protsessov ekstragirovaniya biologicheskii aktivnykh beshestv iz rastitelnogo sirya* [Methods of intensification technologies, processes of extraction of biologically active substances from plant material] Bulletin of Tambov State Technical University, 2005, v. 11, no. 3, pp. 1085. (in Russian)
- [15] Novikova I.V., Agafonov G.V., Kornienko T.S. *Issledovanie skorosti ekstragirovaniya komponentov iz drevesnogo sirya* [Research extraction speed components of the wood raw material] Bulletin of Voronezh State University of Engineering Technology, 2012, no. 3. (in Russian)

## Author's information

**Safin Rushan Gareevich** — Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chair of Department Wood Processing of Kazan National Research Technological University, e-mail: safin@kstu.ru

**Ziatdinova Dilyara Farilovna** — Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chair of Department Wood Processing of Kazan National Research Technological University, e-mail: ziatdinova2804@gmail.com

**Arslanova Gul'shat Rinatovna** — Graduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: 94arslanovagulshat@mail.ru

Received 18.11.2016

## УТИЛИЗАЦИЯ ОТРАБОТАННЫХ ДЕРЕВЯННЫХ ШПАЛ

Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, М.Р. Хайруллина, С.В. Китаев, Э.Р. Хайруллина

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет»,  
420015, г. Казань, ул. К. Маркса, д. 68

safin@kstu.ru

Утилизация отработанных деревянных шпал является актуальной задачей с точки зрения охраны окружающей среды, так как при изготовлении в целях увеличения срока службы их пропитывают антисептическими средствами, которые содержат органические соединения, обладающие высокой летучестью, токсичными, канцерогенными свойствами. В большинстве случаев изъятые из железнодорожных путей деревянные шпалы оказываются загрязненными нефтепродуктами во время эксплуатации. Возможно также присутствие в отработанных деревянных шпалах металлических включений, не извлеченных при демонтаже. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, отработанные древесные шпалы — это готовые изделия, потерявшие свои потребительские свойства, относящиеся к твердым органическим отходам третьего класса экологической опасности. Официально разрешенные методы утилизации отработанных деревянных шпал: захоронение, использование в композиционных и строительных материалах, физико-химические и термические методы (сжигание, газификация, пиролиз). Наиболее эффективным термическим методом утилизации является пиролиз, который позволяет не только ликвидировать и обезвреживать отходы, но и регенерировать энергию и новые материалы. На базе кафедры переработки древесных материалов КНИТУ разработан способ термической переработки органосодержащего сырья, который может быть использован при утилизации отработанных деревянных шпал. Предлагаемый способ и установка для его осуществления позволяют экологически чисто перерабатывать отработанные деревянные шпалы с получением жидкого продукта для пропитки новых деревянных шпал, угольных брикетов из мелкодисперсного угля и несконденсированного пиролизного газа, используемого для получения тепловой энергии и необходимого для осуществления технологического процесса.

**Ключевые слова:** железнодорожная отрасль, деревянные шпалы, пиролиз, экологически чистые технологии

**Ссылка для цитирования:** Утилизация отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, М.Р. Хайруллина, С.В. Китаев, Э.Р. Хайруллина // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 70–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-70-75

Железнодорожная отрасль — одна из хорошо развитых отраслей народного хозяйства России. В процессе хозяйственной деятельности структурных подразделений ОАО «Российские железные дороги» образуется порядка 600 наименований отходов, часть из которых специфична для этой отрасли. Отходы железнодорожного транспорта могут быть загрязнены нефтепродуктами, содержать различные органические соединения, а также тяжелые металлы и ртуть.

Опасные отходы железнодорожной отрасли 1-го и 2-го класса передаются для обезвреживания специализированным сторонним организациям. Отходы 4-го и 5-го классов как практически неопасные не создают для ОАО «РЖД» больших проблем по вторичному использованию и захоронению. Основные проблемы возникают при работе с отходами 3-го класса опасности, для утилизации которых требуются экологически чистые технологии. При этом процесс утилизации может не только замыкать жизненный цикл продукта, но и послужить созданию альтернативных источников энергии и сырья.

Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, отработанные древесные шпалы — это готовые изделия, потерявшие свои потребительские свойства (код 1712060013013),

относящиеся к твердым органическим отходам 3-го класса экологической опасности [1].

Ежегодно после ремонта железнодорожных путей скапливается около двух миллионов деревянных шпал, отслуживших свой срок, а решений об их утилизации пока нет [2]. Нередко отработанные деревянные шпалы (ОДШ) складывают на территории предприятий путевого хозяйства или оставляют разбросанными вдоль железнодорожных путей. Законодательством Российской Федерации за несанкционированно размещенные отходы в местах, не предусмотренных для их хранения, предусмотрена строгая административная ответственность, а также штрафы и санкции.

В связи с этим проблема эффективной и экономически целесообразной утилизации шпал различных типов приобретает актуальный характер.

Существуют следующие методы утилизации отработанных деревянных шпал (рис. 1): захоронение, использование в композиционных и строительных материалах, физико-химические и термические методы (сжигание, газификация и пиролиз) [3].

Шпалы, вышедшие из эксплуатации, подлежат захоронению на специально оборудованных



Рис. 1. Методы утилизации оработанных деревянных шпал  
 Fig. 1. Methods of utilization of used wooden sleepers

полигонах промышленных отходов. Однако из-за переполненности полигонов накапливают и складывают ОДШ в местах, не предусмотренных для хранения отходов 3-го класса опасности, в результате чего происходит вымывание токсичных и вредных веществ в окружающую среду, а это приводит к обострению экологической ситуации.

Использование ОДШ в качестве композиционных и строительных материалов требует полной нейтрализации или изоляции токсичных компонентов каменноугольного масла, в противном случае выделение токсичных соединений приведет ко вторичному загрязнению окружающей среды.

## Методы и исследования

Физико-химические методы утилизации осуществляют совместно с другими методами. Суть их состоит в нейтрализации выделившихся токсичных соединений с последующей дополнительной утилизацией. Нейтрализующие реагенты следует подбирать, учитывая состав пропитывающей жидкости, что крайне затруднительно в случае с каменноугольным маслом из-за сложности его состава. Постоянные дополнительные затраты на нейтрализующий реагент делают этот способ дорогостоящим.

Наиболее распространенными промышленными способами утилизации твердых органических отходов являются термические методы [4].

Самый старый термический метод — *сжигание*. Поскольку все шпалы пропитаны антисептическими средствами, при их сжигании выделяются дымовые газы, содержащие токсичные и канцерогенные вещества, такие как ацетон, бутанол, фенолы, фенантрены, в большой концентрации. Эти вещества, попав в воздух, могут вызвать у людей отравление, способствовать появлению тяжелых заболеваний. Приемлемой для окружающей среды и человеческого организма, концентрации токсичных веществ можно

добиться, сжигая шпалы совместно с другими видами топлива, однако этот способ требует наличие в избытке альтернативного сырья.

Утилизация ОДШ методом *газификации* дает меньшее количество газов, подвергаемых очистке, по сравнению со сжиганием. Суть процесса газификации заключается во взаимодействии органической массы или продуктов ее термической переработки с газифицирующими окислительными либо восстановительными агентами при повышенной температуре, в результате чего органическая часть или продукты ее термической переработки превращаются в горючие газы, которые после очищения могут быть использованы для выработки тепловой или электрической энергии [5, 6]. Недостатком газификации является необходимость применения дорогостоящей системы очистки генераторного газа от термодинамически устойчивых токсичных соединений каменноугольного масла.

Утилизация ОДШ методом *пиролиза* представляет наибольший интерес. Правильная организация технологического процесса при использовании данного метода позволяет покрыть энергетические потребности утилизации, более того, возможно использование избытка вырабатываемого тепла в технологических или бытовых нуждах [7]. Реализация жидких и твердых продуктов позволит повысить экономическую эффективность переработки. С экологической точки зрения пиролиз является наиболее интересным и перспективным методом утилизации, так как осуществляется в герметичных условиях [8] и количество образуемых при этом газов намного меньше, чем при сжигании или газификации.

На кафедре переработки древесных материалов КНИТУ был исследован процесс утилизации ОДШ методом быстрого пиролиза. Цикл экспериментов осуществляли для образцов, полученных из пропитанной части оработанных деревянных шпал с массовой концентрацией каменноугольно-

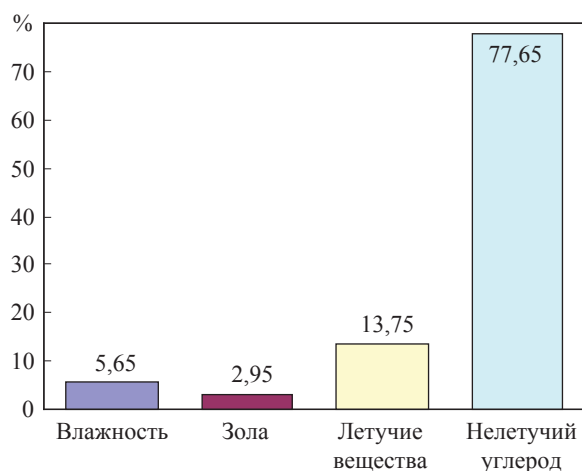


Рис. 2. Результаты анализов угля  
Fig. 2. The results of coal analyses

го масла 12,9 и 80 % при температурных режимах: 400, 450, 500 °С. Жидкие продукты, полученные в ходе эксперимента, подвергали аналитическому исследованию. Химический состав жидких продуктов периферийной пропитанной зоны шпалы определяли методом хроматомасс-спектрометрии на установке TurboMass Gold с предварительной подготовкой методом термостагирования при температуре 70 °С в течение 1 ч. Идентификацию органических соединений пиролизной жидкости проводили с использованием библиотек масс-спектров Nist и Nbs [9].

## Результаты и обсуждения

Анализ бензольного экстракта пиролизной жидкости, полученной при термическом разложении ОДШ с массовой концентрацией каменноугольного масла 80 %, выявил высокое содержание соединений, характерных для состава каменноугольного масла: фенолов 20,1 %, флуоренантраценов и фенантронов 17,2 %, пиренов 16,9 %. Однако следует отметить и наличие легких фракций. Анализ паровой фракции пиролизной жидкости, полученный путем термостагирования, показал содержание в больших количествах ацетона (22 %), бензола (17 %), бутанола (12 %).

Анализ пиролизной жидкости, полученной при термическом разложении ОДШ с массовой концентрацией каменноугольного масла 12,9 %, что соответствует общей массовой концентрации каменноугольного масла в деревянных шпалах, показал наличие следующих соединений: бензола 6,6 %, толуола 7,5 %, альфа-пинена 7 % и др. Анализ паровой фазы выявил преобладание лесохимических продуктов: уксусной кислоты (31,1 %), фурфурола (11,4 %), метилацетата (14,6 %) с незначительной долей компонентов каменноугольного масла.

Термодинамическая устойчивость основных компонентов каменноугольного масла при температурных режимах пиролиза древесины (250...450 °С) позволяет рассматривать процесс пиролиза ОДШ как совокупность процессов термического разложения и дистилляции каменноугольного масла.

Для определения степени соответствия угля, полученного при пиролизе отработанных деревянных шпал, стандарту, были проведены анализы влажности, зольности, массовой доли летучих веществ и нелетучего углерода. Результаты анализов представлены на рис. 2.

Результаты анализов показали соответствие угля марке В по ГОСТ 7657–84 «Уголь древесный. Технические условия».

По результатам исследований разработана установка термической переработки органосодержащего сырья, которая может быть использована при утилизации отработанных деревянных шпал [10]. Принципиальная схема установки представлена на рис. 3.

Установка содержит узел очистки и измельчения сырья, сушильную камеру, выполненную в виде двух последовательно соединенных шнековых транспортеров, реактора пиролиза конусной формы, конденсатора в виде распылительной и насадочной колонн и топочное устройство. Дополнительно установка содержит шнековый питатель для транспортировки и охлаждения твердого продукта и узел брикетирования угля.

Установка работает следующим образом: ОДШ, прошедшие предварительную подготовку (очищенные от посторонних предметов и металлических включений, измельченные) с помощью дозатора 4 попадают на сушку в двух транспортерах. В первом транспортере 5 сушка осуществляется путем передачи тепловой энергии топочными газами через стенку, а во втором транспортере 6 — за счет передачи тепловой энергии воздухом, нагретым топочными газами до температуры 160...200 °С. После сушки до влажности 12 % измельченное сырье поступает в конусный реактор 7 пиролиза, где происходит термическое разложение сырья при температуре 450...520 °С с образованием парогазовой смеси и угля. Уголь поступает в шнековый транспортер 12, где происходит его охлаждение до 50 °С и затем идет в брикетер 13 древесного угля.

Парогазовые продукты разложения поступают в конденсатор, состоящий из распылительной колонны 8 и насадочной колонны 15, где в результате конденсации при температуре 180...290 °С отделяется жидкий продукт [11, 12], который собирается в приемной ванне 10. Несконденсированный пиролизный газ направляется в топку 9 для получения тепловой энергии.



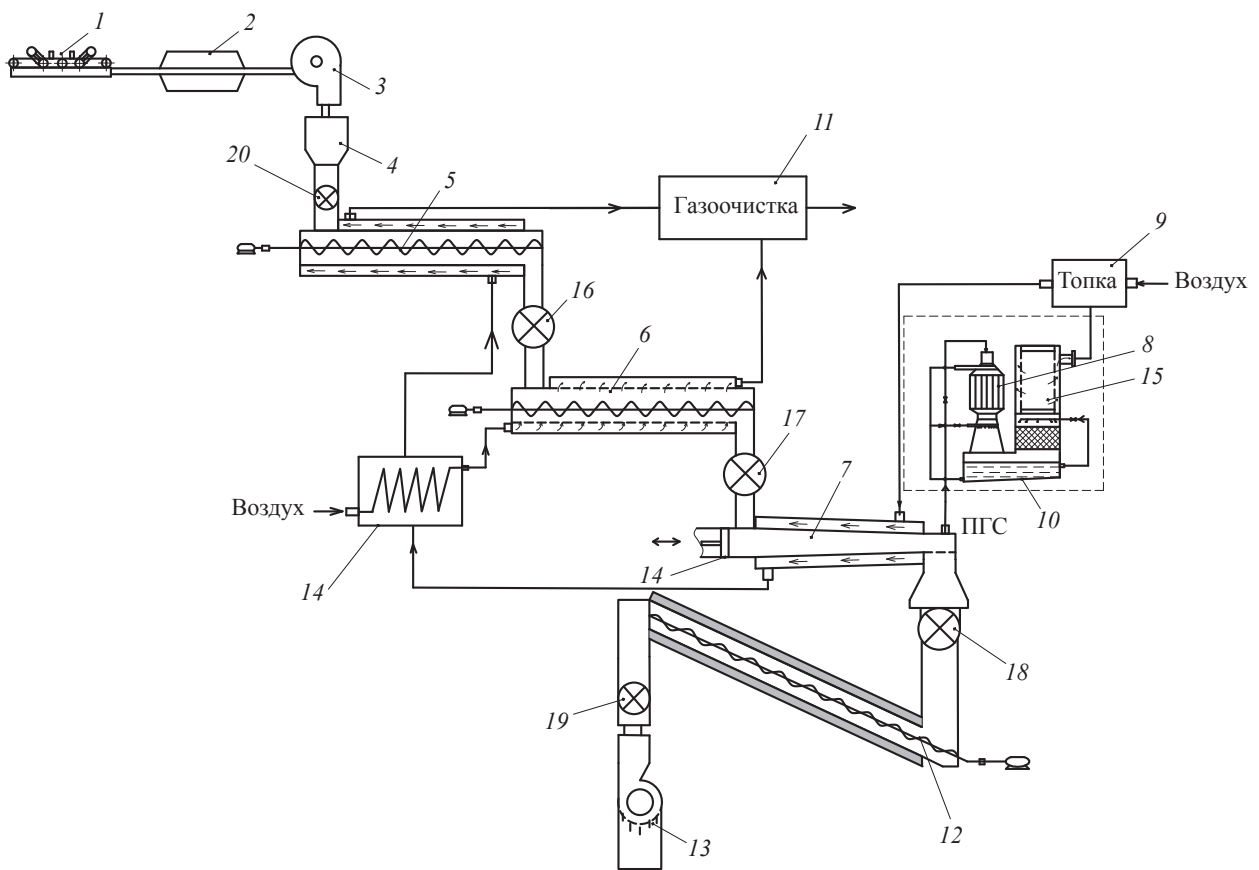


Рис. 3. Принципиальная схема установки переработки органосодержащего сырья: 1 — механический очиститель; 2 — металлоискатель; 3 — рубительная машина; 4 — дозатор; 5, 6, 12 — шнековые транспортеры; 7 — камера пиролиза; 8 — распылительная колонна; 9 — топка; 10 — емкость для сбора жидкого продукта; 11 — газоочиститель; 13 — брикетер; 14 — теплообменник; 15 — насадочная колонна; 16–20 — секторные питатели

Fig. 3. The schematic diagram of the installation processing some organic raw materials: 1 — mechanical cleaner; 2 — metal detector; 3 — chipping machine; 4 — batcher; 5, 6, 12 — the screw conveyor; 7 — pyrolysis camera; 8 — spray tower; 9 — firebox; 10 — reservoir for collecting the liquid product; 11 — gas purifier; 13 — briquette installation; 14 — heat exchanger; 15 — nozzle column; 16–20 — sector feeder

Секторные питатели 16–20 обеспечивают герметизацию узлов установки, которая необходима в технологических процессах.

Топочные газы, полученные при сжигании несконденсированного пиролизного газа [13], используются для нагревания реактора пиролиза, после чего направляются в теплообменник 14 для нагрева воздуха, используемого для сушки измельченного сырья во втором шнековом транспортере, затем направляются в первый шнековый транспортер с целью передачи тепла сырью через стенку для предварительного подогрева. Затем отработанные топочные газы и воздух подвергаются очистке в газоочистителе 11.

При утилизации на данной установке ОДШ с влажностью 50 % измельчение шпал проводится до 10 мм. Температура сушки 160 °С, термического разложения 520 °С, конденсации парогазовой смеси 230 °С, температура охлажденного угля 50 °С. Выход продукта 1 т перерабатыва-

емого сырья: жидких продуктов для пропитки шпал — 300 кг, угольных брикетов — 280 кг.

## Вывод

Данная установка позволяет экологически чисто перерабатывать отработанные деревянные шпалы с получением жидкого продукта для пропитки новых деревянных шпал, а также угольных брикетов.

## Список литературы

- [1] Ресурсосбережение при утилизации отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, М.Р. Хайруллина, Э.Е. Антипова, И.Ф. Гараева // Вестник технологического университета, 2015. Т. 18. № 5. С. 248–250.
- [2] Исследование процессов термокондуктивного разложения отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина, А.Р. Садртдинов, Э.К. Хайруллина, И.С. Романчева // Вестник Казанского технологического университета, 2015. Т. 18. № 20. С. 185–187.

- [3] Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р., Савельев А.С., Романчева И.С. Энерго- и ресурсосберегающая технология сушки и утилизации отработанных деревянных шпал // Актуальные проблемы сушки и термовлажностной обработки материалов в различных отраслях промышленности и агропромышленном комплексе: сб. научных статей Первых междунар. Лыковских научных чтений, посвященных 105-летию академика А.В. Лыкова, Москва 22-23 сентября 2015. М.: Университетская книга, 2015. С. 367–369.
- [4] Тимербаев Н.Ф., Сафин Р.Г., Саттарова З.Г. Утилизация твердых отходов деревопереработки, содержащих токсичные вещества // Вестник Казанского технологического университета, 2011. № 4. С. 79–84.
- [5] Разработки КНИТУ в области газификации древесных материалов / Р.Г. Сафин, Н.Ф. Тимербаев, Д.Ф. Зиятдинова, Д.А. Ахметова, Т. О. Степанова // Вестник Казанского технологического университета, 2016. Т. 19. № 3. С. 11–14.
- [6] Харьков В.В., Николаев А.Н. Расчет коэффициента массоотдачи в пленочных аппаратах прямоточно-вихревого типа // Вестник Казанского технологического университета, 2016. Т. 19. № 13. С. 149–152.
- [7] Safin R., Tuntsev D., Safin R., Hismatov R. A mathematical model of thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed // Acta facultatis xylologiae zvolen, 2016, vol. 58, no. 2, pp. 141–148.
- [8] Утилизация отработанных деревянных шпал методом термокондуктивного пиролиза / Д.В. Тунцев, М.Р. Хайруллина, Э.К. Хайруллина, А.С. Савельев, И.С. Романчева // Вестник Югорского государственного университета, 2015. № 5 2 (37). С. 139–140.
- [9] Тунцев Д.В., Хайруллина М.Р. Ресурсосберегающая технология утилизации отработанных деревянных шпал // Деревообрабатывающая промышленность, 2015. № 3. С. 47–49.
- [10] Способ термической переработки органосодержащего сырья и установка для его осуществления Пат. 2582698 Российская Федерация, МПК С 10 В 57/10 / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, Н.Ф. Тимербаев, А.В. Сафина, А.М. Касимов, М.Р. Хайруллина, А.Р. Арсланова, Э.Е. Антипова; заявитель и патентообладатель Казанский национальный исследовательский технологический университет, № 2014154234/05; заявл. 29.12.2014; опубл. 27.04.2016; бюл. № 12. 8 с.
- [11] Tuntsev D.V., Filippova F.M., Khismatov R.G., Timerbaev N.F. Pyrolyzates: products of plant biomass fast pyrolysis // Russian Journal of Applied Chemistry, 2014, vol. 87, no. 9. pp. 1367–1370.
- [12] Исследование свойств продуктов термического разложения отработанных деревянных шпал / Д.В. Тунцев, Р.Г. Сафин, Р.Г. Хисматов, М.Р. Хайруллина, Э.К. Хайруллина // Вестник Казанского технологического университета, 2015. № 21. Т. 18. С. 94–96.
- [13] Технология быстрого пиролиза при энергетическом использовании низкокачественной древесины / А.Н. Грачев, В.Н. Башкиров, И.А. Валеев, Р.Г. Хисматов, А.А. Макаров, Д.В. Тунцев // Энергетика Татарстана, 2008. № 4. С. 16–20.

## Сведения об авторах

**Тунцев Денис Владимирович** — канд. техн. наук, доцент кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: tuncsev\_d@mail.ru

**Сафин Рушан Гареевич** — д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: safin@kstu.ru

**Хайруллина Милауша Рашатовна** — аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: khayrullina\_mila@mail.ru

**Китаев Сергей Васильевич** — аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: kitaev-sv@gmt.com.ru

**Хайруллина Эндже Рашатовна** — аспирант кафедры переработки древесных материалов Казанского национального исследовательского технологического университета, e-mail: endzhe\_31@mail.ru

Статья поступила в редакцию 15.02.2017 г.

## THE UTILIZATION OF THE USED WOODEN SLEEPERS

**D.V. Tuntsev, R.G. Safin, M.R. Khairullina, S.V. Kitaev, E.R. Khayrullina**

Kazan National Research Technological University (KNRTU), Karla Marksa st., 68, 420015, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
safin@kstu.ru

Used wooden sleepers are impregnated with organic preservatives with high volatility, toxic and cancerogenic properties to increase their life duration. As a result, the utilization of used wooden sleepers is the urgent task of environmental protection. Most often used wooden sleepers are being polluted by petroleum products during their field service. Besides, they can have some metal inclusions left after stripping operations. According to the Federal Classificatory Catalogue of Wastes used wooden sleepers are finished products that have lost their application properties and have joined the third ecological hazard class of solid organic wastes. Officially permitted methods

of used wooden sleepers utilization are burial, physicochemical and thermal methods (incineration, gasification, pyrolysis) and application as a part of composite and construction materials. Pyrolysis is considered the best method of their utilization as it allows to destroy and to detoxify used wooden sleepers, moreover, it is also regenerates energy and new materials. The method of heat treatment of organic raw materials which can be applied to the wooden sleepers recycling has been developed at the Department of Wood Processing (Kazan National Research Technological University). The offered method and the designed installation provide ecological treatment of used wooden sleepers, producing special liquid to impregnate new sleepers, some fine-dispersed coal (coal bricks in perspective) and uncondensable pyrogas as a source of heat energy for technological processes.

**Keywords:** railway industry, wooden sleepers, pyrolysis, clean technologies

**Suggested citation:** Tuntsev D.V., Safin R.G., Khairullina M.R., Kitaev S.V., Khayrullina E.R. *Utilizatsiya otrabotannykh derevyannykh shpal* [The utilization of used wooden sleepers]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 70–75. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-70-75

## References

- [1] Tuntsev D.V., Safin R.G., Khismatov R.G., Khairullina M.R., Antipova E.E., Garaeva I.F. *Resursosberezenie pri utilizatsii otrabotannykh derevyannykh shpal* [Resource-saving at utilization of the used wooden sleepers] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2015, v. 18, no. 5, pp. 248-250. (in Russian)
- [2] Tuntsev D.V., Khairullina M.R., Sadrtidinov A.R., Khairullina E.K., Romancheva I.S. *Issledovanie protsessov termokonduktivnogo razlozheniya otrabotannykh derevyannykh shpal* [Research of processes of decomposition of waste thermoconductive wooden sleepers] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2015, v. 18, no. 20, pp. 185-187. (in Russian)
- [3] Tuntsev D.V., Khairullina M.R., Savelyev A.S., Romancheva I.S. *Energo- i resursosberegayushchaya tekhnologiya sushki i utilizatsii otrabotannykh derevyannykh shpal* [Energy and resource saving technology of drying and disposal of used wooden sleepers] *Actual problems of drying and hydrothermal treatment of materials in various industries and the agro-industrial complex: collection of scientific articles the First International Likovskiy scientific readings devoted to the 105th anniversary of academician A.V. Lykov*, 2015, pp. 367-369. (in Russian)
- [4] Timerbayev N.F., Safin R.G., Sattarova Z.G., *Utilizatsiya tverdykh otkhodov derevopererabotki, sodержashchikh toksichnye veshchestva* [Utilization of the solid waste of wood processing containing toxic substances] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2011, no. 4, pp. 79-84. (in Russian)
- [5] Safin R.G., Timerbayev N.F., Ziyatdinova D.F., Akhmetov D.A., Stepanova T.O. *Razrabotki KNITU v oblasti gazifikatsii drevesnykh materialov* [Developments of KNITU in the field of gasification of wood material] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2016, v. 19, no. 3, pp. 11-14. (in Russian)
- [6] Kharkov V.V., Nikolaev O.N. *Raschet koeffitsienta massootdachi v plenochnykh apparatakh pryamotchno-vikhrevogo tipa* [Calculate the coefficient of mass transfer in film apparatus direct-flow-vortex type] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2016, v. 19, no. 13, pp. 149-152. (in Russian)
- [7] Safin R., Tuntsev D., Safin R., Hismatov R. *A mathematical model of the thermal decomposition of wood in conditions of fluidized bed*. *Acta facultatis xylogologiae zvoen*, 2016, v. 58, no. 2, pp. 141-148. (in Russian)
- [8] Tuntsev D.V., Khairullina M.R., Khairullina E.K., Savelyev A.S., Romancheva I.S. *Utilizatsiya otrabotannykh derevyannykh shpal metodom termokonduktivnogo piroliza* [Dispose of used wooden sleepers by method of thermoconductive pyrolysis] *Bulletin of Ugra state university*, 2015, no. S2 (37), pp. 139-140. (in Russian)
- [9] Tuntsev D.V., Khairullina M.R. *Resursosberegayushchaya tekhnologiya utilizatsii otrabotannykh derevyannykh shpal* [Resource-saving technology of recycling of used wooden sleepers] *Woodworking industry*, 2015, no. 3, pp. 47-49. (in Russian)
- [10] *Sposob termicheskoy pererabotki organosoderzheniya syr'ya i ustanovka dlya ego osuschestvleniya* [The method of thermal processing of organics-containing raw material and installation for its implementation] *Patent of Russia № 2582698*. 2016. *Bull.*, no. 12, 8 p. (in Russian)
- [11] Tuntsev D.V., Filippova F.M., Khismatov R.G., Timerbaev N.F. *Pyrolyzates: products of plant biomass fast pyrolysis*. *Russian Journal of Applied Chemistry*, 2014, v. 87, no. 9, pp. 1367-1370.
- [12] Tuntsev D.V., Safin R.G., Khismatov R.G., Khairullina M.R., Khairullina E.K. *Issledovanie svoystv produktov termicheskogo razlozheniya otrabotannykh derevyannykh shpal* [Research of properties of products of thermal decomposition of the fulfilled wooden sleepers] *Bulletin of Kazan Technological University*, 2015, no. 21, v. 18, pp. 94-96. (in Russian)
- [13] Grachev A.N., Bashkirov V.N., Valeev I.A., Khismatov R.G., Makarov A.A., Tuntsev D.V. *Tekhnologiya bystrogo piroliza pri energeticheskom ispol'zovanii nizkokachestvennoy drevesiny* [Technology of fast pyrolysis at energy use of low-quality wood] *Energy of the Tatarstan*, 2008, no. 4, pp. 16-20. (in Russian)

## Author's information

**Tuntsev Denis Vladimirovich** — Cand. Sci. (Engineering), Assoc. Prof. Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: [tuncev\\_d@mail.ru](mailto:tuncev_d@mail.ru)

**Safin Rushan Gareevich** — Dr. Sci. (Engineering), Professor, Chair of Department Wood Processing of Kazan National Research Technological University, e-mail: [safin@kstu.ru](mailto:safin@kstu.ru)

**Khayrullina Milausha Rashatovna** — Postgraduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: [khayrullina\\_mila@mail.ru](mailto:khayrullina_mila@mail.ru)

**Kitaev Sergey Vasil'evich** — Postgraduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: [kitaev-sv@gmt.com.ru](mailto:kitaev-sv@gmt.com.ru)

**Khayrullina Endzhe Rashatovna** — Postgraduate student at Wood Processing Department of Kazan National Research Technological University, e-mail: [endzhe\\_31@mail.ru](mailto:endzhe_31@mail.ru)

Received 15.02.17

## ПОТРЕБНОСТЬ ПАРКА ЛЕСОСЕЧНЫХ МАШИН В ТЕХНИЧЕСКОМ ОБСЛУЖИВАНИИ

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

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

Основу существующей организацией технического обслуживания парка лесосечных машин составляет периодический технический уход и ремонт. Примерно через одинаковые интервалы времени у однотипных машин появляются одинаковые потребности в обслуживании, регулировках и ремонте. Периодичность ухода и ремонта устанавливается на основе статистического исследования, возникающих неисправностей машин. Выявлена связь между готовностью и простоями парка лесосечных машин, с одной стороны, и объемом используемых запасных частей — с другой. Увеличение объемов закупок запчастей (создание резервного фонда) для тракторов приводит к сокращению их простоев за счет повышения оперативности устранения последствий отказов. Стоимость запасных частей в структуре затрат на техническое обслуживание тракторов составляет 22,2 %, на текущий ремонт — 31,7 %, на капитальный ремонт — 48,1 %. С целью снижения простоев тракторов определен норматив резервного запаса деталей для устранения последствий отказов во время лесосечных работ. Для трактора ТТ-4М стоимость запаса деталей должна составлять 0,2 % цены трактора. Поломки машин в лесу, их длительные простои — одна из характерных особенностей лесозаготовительного производства. Положение усугубляется случайностью этих событий. Машин обычно терпят аварию, когда ее совершенно не ожидают. Но каждому, кто занимается эксплуатацией техники, наряду с регистрацией уже произошедших событий приходится делать предположения о событиях, которые не наступили, предвидеть их особенности и выработать линию поведения в соответствии со своими ожиданиями. Без предвидения невозможна никакая практическая деятельность.

**Ключевые слова:** лесосечные машины, техническое обслуживание, лесозаготовительное производство

**Ссылка для цитирования:** Запруднов В.И., Карпачев С.П., Быковский М.А. Потребность парка лесосечных машин в техническом обслуживании // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 76–79. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-76-79

**В** настоящее время владельцы лесосечных машин техническое обслуживание и ремонт проводят в основном собственными силами. Как показали исследования, ремонт машин сводится к замене запасных частей. Их доля в структуре общих годовых затрат на поддержание работоспособности составляет в настоящее время около 20 %. Обеспеченность запасными частями влияет на готовность и простои лесосечных машин [1, 2].

Основные базовые тракторы для лесосечных работ — ТТ-4М и ТДТ-55А. Одной из важнейших причин невысокой готовности парка машин является отсутствие в леспромхозах и лесхозах запасных частей и финансовых средств на их приобретение. Нами проанализированы при-

чины простоев лесосечных машин в некоторых лесных регионах. Свыше 60 % техники простаивает из-за отсутствия у лесозаготовителей запасных частей.

Анализ структуры себестоимости ремонтных работ показал, что наибольшую часть общих затрат составляют именно затраты на запасные части от (61...86,6 %). Это связано с тем, что владельцы машин сами выполняют ремонтно-обслуживающие работы — в основном путем замены деталей и агрегатов.

Анализ качества поставляемых машин показал, что наибольшее количество рекламаций и замечаний поступало от потребителя по отказам базового трактора ТТ-4М (ТТ-4М-01). Техническая готовность тракторов ТТ-4М представлена в

Т а б л и ц а 1

**Техническая готовность  
парка тракторов ТТ-4М**  
Technical readiness of the tractors park ТТ-4М

Показатель	Значение показателя		
	76,3	83,1	88,7
Готовность парка тракторов, %	76,3	83,1	88,7
Затраты на ремонтно-обслуживающие работы и запасные части в расчете на один трактор, тыс. руб. в том числе на запасные части, тыс. руб.	33,0	39,0	44,8
	24,0	32,5	37,4

Т а б л и ц а 2

**Длительность простоев тракторов ТТ-4М**  
Duration of idle time of tractors ТТ-4М

Показатель	Значение показателя		
	До 150	150–225	225–300
Простои на 1 трактор, ч	До 150	150–225	225–300
Затраты на ремонтно-обслуживающие работы и запасные части в расчете на один трактор, тыс. руб. в том числе на запасные части, тыс. руб.	48,7	34,0	27,4
	37,0	28,9	21,4

Т а б л и ц а 3

**Длительность простоев машин на базе трактора ТТ-4М при наличии и в отсутствие резерва запасных частей**

**Duration of downtime of machines based on the ТТ-4М tractor in the presence and absence of spare parts reserve**

Показатель	Предприятия без резервного фонда запасных частей	Предприятия с резервным фондом запасных частей
Затраты на ремонтно-обслуживающие работы на 1 машину, тыс. руб.	39,0	48,9
в том числе затраты на запасные части, тыс. руб.	20,7	37,8
Простои машин во время лесосечных работ, ч	81,2	45,6

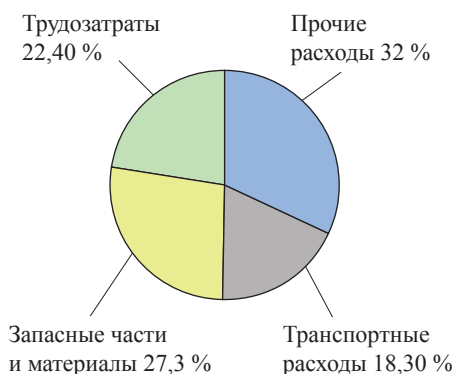


Рис. 1. Структура затрат на техническое обслуживание тракторов ТТ-4М при минимуме простоев  
Fig. 1. The structure of costs for maintenance of TT-4M tractors with a minimum downtime

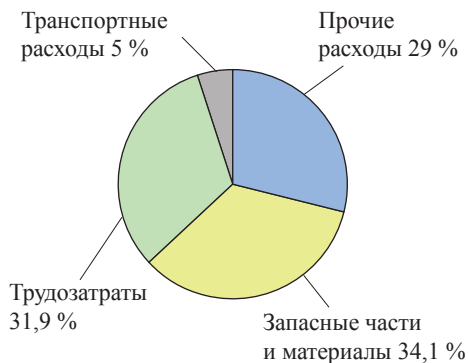


Рис. 2. Структура затрат на текущий ремонт тракторов ТТ-4М при минимуме простоев  
Fig. 2. The structure of costs for the current repair of TT-4M tractors with a minimum downtime

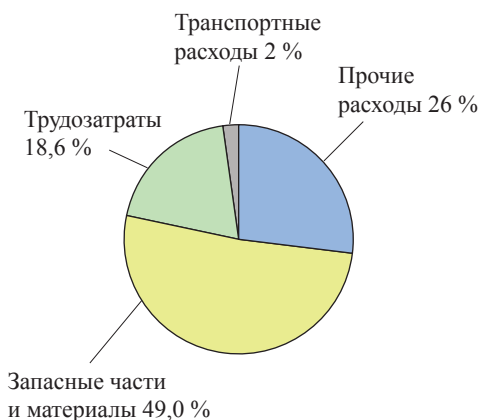


Рис. 3. Структура затрат на капитальный ремонт тракторов ТТ-4М при минимуме простоев  
Fig. 3. The structure of costs for the overhaul of TT-4M tractors with a minimum downtime

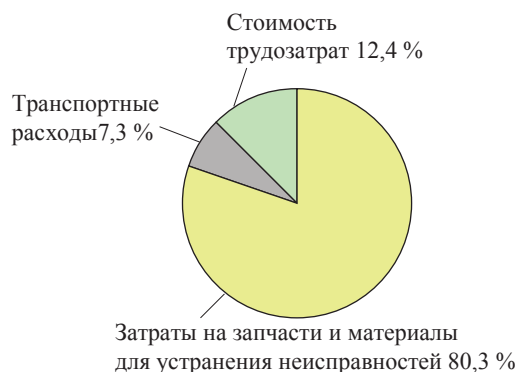


Рис. 4. Структура затрат на услуги по устранению неисправностей тракторов ТТ-4М во время лесосечных работ при минимуме простоев  
Fig. 4. The structure of costs for services to eliminate of TT-4M tractors failures during logging operations with a minimum downtime

табл. 1, из которой можно сделать следующий вывод: в группе тракторов с наибольшей готовностью — самые высокие затраты на технический сервис, в том числе на закупку запасных частей.

В группе тракторов с простоями свыше 300 ч — самые низкие затраты на технический сервис, в том числе на закупку запасных частей (табл. 2).

Как правило, лесозаготовительные предприятия приобретают необходимые запасные части к лесосечным машинам в различных магазинах запасных частей и на ремонтно-технических предприятиях.

Зачастую в период лесосечных работ в этих магазинах не оказывается нужных запасных частей, особенно остродефицитных (по данным опроса специалистов, такие детали составляют около 30 % всего объема запчастей, которые расходуются в этот период), поэтому так велики простои машин во время лесосечных машин по техническим причинам.

По данным проведенных исследований, на одну лесосечную машину приходится 3–4 отказа.

Авторами теоретически обосновано создание резервного фонда запасных частей и агрегатов. В этом случае объем затрат на запасные части возрастет, но за счет оперативности устранения последствий отказов снизятся простои машин во время работ в лесу. В настоящее время такой подход используется при техническом обслуживании машин зарубежными дилерами [3].

В качестве эксперимента такой подход применяли на некоторых лесозаготовительных предприятиях Вологодской, Владимирской областей и Республики Мордовия [4–8] (табл. 3).

Таким образом, наличие резервного фонда запасных частей снижает простои лесосечных машин по причине их неисправностей. Структура затрат на техническое обслуживание и ремонт лесосечных машин при минимуме простоев представлена на рис. 1 и 2.

В структуре затрат на техническое обслуживание тракторов 27,3 % составляет стоимость запасных частей (см. рис. 1); в структуре затрат на текущий ремонт тракторов их доля — 31,9 % (см. рис. 2).

В структуре затрат на капитальный ремонт тракторов 49,0 % составляет стоимость запасных частей (рис. 3); на услуги по устранению неисправностей машин во время лесосечных работ около 90 % составляют затраты на запасные части и материалы для устранения неисправностей (рис. 4).

Таким образом, установлена связь между готовностью и простоями парка лесосечных машин, с одной стороны, и объемом используемых запасных частей — с другой. Так, увеличение объемов закупок запчастей (создание резервного фонда) для тракторов ТТ-4М с 20,7 до 37,8 тыс. руб. приводит к сокращению простоев тракторов за счет того, что оперативность устранения последствий отказов повышается в 1,8 раза. Стоимость запасных частей в структуре затрат на техническое обслуживание тракторов составляет 22,2 %, на текущий ремонт — 31,7 %, на капитальный ремонт — 48,1 %. С целью снижения простоев тракторов ТТ-4М определен норматив резервного запаса деталей для устранения последствий отказов во время лесосечных ра-

бот. Для трактора ТТ-4М стоимость запаса деталей должна составлять 0,2 % цены трактора.

Поломка машин в лесу, их длительные простои — одна из характерных особенностей лесозаготовительного производства [9, 10]. Авария обычно происходит тогда, когда ее совершенно не ожидают. Но каждому, кто занимается эксплуатацией техники, наряду с регистрацией уже произошедших событий приходится делать предположения о событиях, которые не наступили, предвидеть их особенности и вырабатывать линию поведения в соответствии со своими ожиданиями. Без предвидения невозможна никакая практическая деятельность.

## Список литературы

- [1] Григорьев И.В., Жукова А.И., Григорьева О.И., Иванов А.В. Средоадаптивные технологии разработки лесосек в условиях Северо-Западного региона Российской Федерации. СПб.: ЛТА, 2008. 174 с.
- [2] Редькин А.К. Технология и оборудование лесозаготовок: учеб. пособие для вузов, направление бакалавриата «Лесное дело», специальность «Лесное хозяйство». М.: МГУЛ, 2010. 178 с.
- [3] Игнатов В.И., Макуев В.А., Сиротов А.В. Техническая эксплуатация и технология ремонта машин и оборудования лесного комплекса. М.: МГУЛ, 2006. 337 с.
- [4] Обыденников В.И. Лесовозобновление после сплошных рубок с применением агрегатной техники // Обзорная информация Охрана окружающей среды. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1988. Вып. 7. 28 с.
- [5] Мяснищев Д.Г. Малая механизация для трелевки при рубках ухода. Архангельск: АГТУ, 2008. 120 с.
- [6] Григорьев И.В., Каляшов В.А. Современные тенденции развития техники и технологии лесосечных работ // Леспроминновации, 2005. № 1. С. 6–8.
- [7] Макуев В.А. Критерии формирования парка лесосечных машин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. № 1 (70). С. 82–84.
- [8] Быков В.В., Тесовский А.Ю. Справочник по технологическим и транспортным машинам лесопромышленных предприятий и техническому сервису. М.: МГУЛ, 2000. 532 с.
- [9] Прохоров Л.Н., Зинин В.Ф., Желдак В.И. Система технологий и машин (СТМ) для рубок ухода за лесом // Лесная информация, 2004. № 5. С. 25–36.
- [10] Черноиванов В.И., Бледных В.В., Северный А.Э. Техническое обслуживание и ремонт машин в сельском хозяйстве. М-Челябинск: Всероссийский научно-исследовательский технологический институт ремонта и эксплуатации, машинно-тракторного парка Россельхозакадемии; ЧГАУ, 2005. 992 с.

## Сведения об авторах

**Запруднов Вячеслав Ильич** — д-р техн. наук, профессор кафедры промышленного транспорта и строительства, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: zaprudnov@mgul.ac.ru

**Карпачев Сергей Петрович** — д-р техн. наук, профессор кафедры промышленного транспорта и строительства, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: karpachev@mgul.ac.ru

**Быковский Максим Анатольевич** — канд. техн. наук, доцент кафедры промышленного транспорта и строительства 8, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: bykovskiy@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 15.08.2016 г.

## THE REQUIREMENT OF THE LOGGING MACHINES PARK IN MAINTENANCE

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

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

zaprudnov@mgul.ac.ru

The basis of the current maintenance organization of the park of logging machines is related to the amount of periodic maintenance treatments and repairs. It is assumed that approximately in the same intervals of time for the similar machines there appears the same maintenance, adjustments and repair. The frequency of maintenance and repairs has been shown on the basis of statistical studies of malfunctions occurring in the machines. In the article the relationship between the technical availability and downtime of the logging machinery park and the amount of used spare parts was defined. The increase in spare parts purchase (to build up a reserve stock) for tractors results in a reduction of their downtime due to improving the efficiency of troubleshooting the consequences of technical failure. The structure of the maintenance costs of tractors is divided as follows: the spare part cost is 22,2 %, the maintenance is 31,7 %, and the capital repair is 48,1 %. To reduce the downtime of tractors the standard stock of repair parts for troubleshooting the consequences of failures during logging operations has been determined. For the TT-4M tractor the cost of the repair parts should be 0,2 % of the price of the tractor. Machinery breakdown in the forest and its long-term downtime are one of the characteristic features of the timber production. The situation is complicated by the randomness of these events. Logging machines usually experience accidents when they are not expected. But everyone who is engaged in the operations with logging equipment, along with the registration of past events, must make suppositions about some events that have not occurred yet to predict their characteristics and to develop a line of conduct in accordance with their expectations. Without foresight there can be no the practical activities.

**Keywords:** logging machine, maintenance, timber production

**Suggested citation:** Zaprudnov V.I., Karpachev S.P., Bykovskiy M.A. *Potrebnost' parka lesosechnykh mashin v tekhnicheskoy obsluzhivaniy* [The requirement of the logging machines park in maintenance]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 76–79. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-76-79

### References

- [1] Grigoriev I.V., Zhukova A.I., Grigorieva O.I., Ivanov A.V. *Sredoshchadyashchie tekhnologii razrabotki lesosek v usloviyakh severo-zapadnogo regiona Rossiyskoy Federatsii* [Environmentally friendly technologies in the development of cutting areas in the North-West region of the Russian Federation]. SPb.: LTA Publ., 2008. 174 p. (in Russian)
- [2] Redkin A.K. *Tekhnologiya i oborudovanie lesozagotovok* [Technology and equipment of logging]. Moscow: MSFU Publ., 2010, 178 p. (in Russian)
- [3] Ignatov V.I., Makuev V.A., Sirota A.V. *Tekhnicheskaya ekspluatatsiya i tekhnologiya remonta mashin i oborudovaniya lesnogo kompleksa* [Maintenance and repair of machines and equipment of forest complex]. Moscow: MSFU Publ., 2006, 337 p. (in Russian)
- [4] Obyednikov V.I. *Lesovozobnovlenie posle sploshnykh rubok s primeneniem agregatnoy tekhniki* [Reforestation after clear-cutting with the use of aggregate equipment] *Overview information Environmental protection*, vol. 7, NIPIElesprom, 1988, 28 p. (in Russian)
- [5] Myasishchev D.G. *Malaya mekhanizatsiya dlya trelevki pri rubkakh ukhov* [Small machines for skidding when thinning. Monograph]. Arkhangelsk: Arkhangelsk State Technical University Publ., 2008, 120 p. (in Russian)
- [6] Grigoryev I.V., Kalyashov V.A. *Sovremennye tendentsii razvitiya tekhniki i tekhnologii lesosechnykh rabot* [Modern trends in technique and technology of logging operations]. Moscow: LesPromInform Publ., 2005, no. 1, pp. 6-8. (in Russian)
- [7] Makuev V.A. *Kriterii formirovaniya parka lesosechnykh mashin* [Criteria for formation of the park logging machines]. *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2010, no. 1 (70), pp. 82-84. (in Russian)
- [8] Bykov V.V., Tesovskiy A.Yu. *Spravochnik po tekhnologicheskim i transportnym mashi-nam lesopromyshlennykh predpriyatiy i tekhnicheskoyu servisu* [Handbook of technological and transport machines for timber companies and technical services]. Moscow: MSFU Publ., 2000, 532 p. (in Russian)
- [9] Prokhorov L.N., Zinin V.F., Zheldak V.I. *Sistema tekhnologiy i mashin (STM) dlya rubok ukhoda za lesom* [The system of technologies and machines (STM) for thinning the forest] *Forest information*, no. 5, 2004, pp. 25-36. (in Russian)
- [10] Chernoiyanov V.I., Blednykh V.V., Severnyy A.E. *Tekhnicheskoe obsluzhivanie i remont mashin v sel'skom khozyaystve* [Maintenance and repair of machines in agriculture]. Moscow-Chelyabinsk, 2005, 992 p. (in Russian)

### Author's information

**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich** — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: zaprudnov@mgul.ac.ru

**Karpachev Sergey Petrovich** — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: karpachev@mgul.ac.ru

**Bykovskiy Maksim Anatol'evich** — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: bykovskiy@mgul.ac.ru

Received 15.08.2016

## ОПТИМИЗАЦИЯ ВОЛОКОННОГО БРЭГГОВСКОГО ОТРАЖАТЕЛЯ ДЛЯ ОПТИЧЕСКИХ ЛИНИЙ СВЯЗИ

П.С. Серебренников, А.В. Шмаков, Т.А. Городецкая

МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1  
physp37smat@gmail.com

Проведен численный расчет пяти- и двенадцатиканального волоконного брэгговского отражателя с использованием системы MATLAB. Для получения резонансного брэгговского отражения для различных частот производится дополнительная модуляция периодической функцией показателя преломления вдоль оптического волновода. Сам вид этой функции определяется из требования, чтобы коэффициент отражения в центре каждого канала имел значение, близкое к единице. Модулирующая функция аппроксимируется ступенчатой функцией, так что она задается 20-мерным (по числу ступенек) вектором  $a(k)$  где значение  $k$ -й координаты означает высоту  $k$ -й ступеньки:  $\varphi(z) = \text{ceil}(z/5 \cdot 10^{-3}) \cdot (a(k)/k)$ . Оптимальный вид модулирующей функции находится перебором случайных 20-мерных векторов, так что определяется минимальное квадратичное отклонение каналов от единицы. Для найденной оптимальной модулирующей функции определяется средний коэффициент отражения каналов и разброс этого коэффициента (с.к.о.). Найдены оптимальные модулирующие функции для пяти- и двенадцатиканального волновода. Одномодовый волновод при  $\lambda = 1550$  нм (где кварцевое волокно несет наименьшие потери) имеет положительный коэффициент дисперсии  $D = 6,5$  пс/нм · км с наклоном дисперсионной характеристики  $0,04$  пс/нм<sup>2</sup> · км. Брэгговский отражатель вносит запаздывание сигнала, различное для разных длин волн, и при определенных параметрах этого отражателя возможна компенсация дисперсии сигнала в волноводе. Рассмотрен брэгговский отражатель с изменяющимися периодами решетки и модулирующей функции на предмет компенсации хроматической дисперсии в волноводе. Анализ проведен методом матрицы перехода (Transfer Matrix Method). Выяснено, что для пятиканального волоконного брэгговского отражателя при определенных параметрах линейного чирпа периода решетки и модулирующей функции ( $\delta\Lambda_B/\Lambda_B = 0,15\%$ ,  $\delta\Lambda_s/\Lambda_s = 1,2\%$ ) возможна компенсация хроматической дисперсии одномодового волновода на расстоянии порядка двести километров.

**Ключевые слова:** волоконный брэгговский отражатель, модулирующая функция, коэффициент отражения канала, одномодовый волновод, хроматическая дисперсия, чирп периода решетки

**Ссылка для цитирования:** Серебренников П.С., Шмаков А.В., Городецкая Т.А. Оптимизация волоконного брэгговского отражателя для оптических линий связи // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 80–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-80-83

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) отличаются высокой помехозащищенностью, огромными объемами передаваемой информации. Прокладка линий ВОЛС требует больших затрат поэтому естественно желание передавать по одной линии много каналов. В связи с этим в последние годы интенсивно развиваются технологии DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing) — уплотнение каналов за счет разнесения их по длинам волн. Важным элементом любого лазерного источника является зеркало для создания селективной обратной линии связи. В монолитных лазерах, сопряженных с пленочными волноводами часто используется брэгговская решетка, полученная за счет модуляции толщины волновода. В ВОЛС самыми перспективными оказались волоконные брэгговские решетки (Fiber Bragg Grating (FBG)), создаваемые непосредственно в волокне путем модуляции показателя преломления волокна. Изменение показателя преломления, равного приблизительно  $10^{-4}$ , достигается путем облучения, например, аргоновым лазером ( $\lambda = 244$  нм). При гармонической зависимости показателя преломле-

ния от координаты получается резонансное брэгговское отражение на одной длине волны  $\lambda_B = 2n\Lambda_B$  ( $n$  — показатель преломления,  $\Lambda_B$  — период решетки). Для получения многоканального брэгговского отражения показатель преломления дополнительно модулируется вдоль оптического волокна периодической функцией [1–11] так, чтобы зависимость показателя преломления от координаты имела вид

$$n(z) = n_0 + \Delta n \cos((2\pi/\Lambda_B)z + \varphi(z)),$$

где  $\varphi(z)$  — функция модуляции (sampling function).

Получающаяся суперструктурная волоконная брэгговская решетка, в отличие от исходной, имеет целый набор пространственных частот

$$\cos\left(\frac{2\pi}{\Lambda_B}z + \varphi(z)\right) = \sum_m F_m \exp\left(i\left(\frac{2\pi}{\Lambda_B} + m\frac{2\pi}{\Lambda_s}\right)z\right),$$

где  $\Lambda_s$  — период модулирующей функции (sampling period).

Это приводит к тому, что теперь имеет место резонансное брэгговское отражение на наборе



частот с интервалом между ними  $\Delta\nu = c/2n\Lambda_s$  ( $\Delta\nu \cong 100$  ГГц при  $n = 1,45$ ,  $\Lambda_s = 1$  мм).

### Методы и исследования

Если проводится  $m$ -канальное мультиплексирование, необходимо получить приблизительно одинаковые и близкие к единице коэффициенты отражения для каждого канала. Это достигается выбором вида функции  $\varphi(z)$ . Для центральной частоты канала коэффициент отражения задается формулой

$$R_m = \text{th}^2(|k_m|L),$$

где  $k_m = \pi\Delta n F_m / \Lambda_B$ ;  
 $L$  — длина решетki.

Искомая функция  $\varphi(z)$  представляется ступенчатой функцией, высота ступенек варьируется. Задача сводится к нахождению минимума функции

$$DR = \sum_m (\text{th}^2(|k_m|L) - 1)^2.$$

Численный расчет проводится с помощью системы MATLAB. Модулирующая функция  $\varphi(z)$  представляется ступенчатой функцией (в расчете  $\Lambda_s$  делится на 20 отрезков длиной  $5 \cdot 10^{-3}$  см каждый). В итоге функция  $\varphi(z)$  задается 20-мерным вектором  $a(k)$ , где значение  $k$ -й координаты вектора означает высоту  $k$ -й ступеньки:

$$\varphi(z) = \text{ceil}(z/5 \cdot 10^{-3})(a(k)/k).$$

Период  $\Lambda_s$  делится на  $4096 = 2^{12}$  точек и производится точечное быстрое Фурье-преобразование. Найденное значение  $F_m$  подставляется в коэффициент отражения  $R_m$  и вычисляется функция  $DR$ . Оптимальный вид функции  $\varphi(z)$  находят перебором случайных векторов  $a(k)$ , т. е. вектор записывают в виде  $a(k) = 2\pi \text{rand}(1, 20)$ .

Программа работает следующим образом. При заданном числе  $N$  (50, 100, 200) программа генерирует очередной случайный вектор и вычисляется значение функции  $DR$ . Если полученное значение оказалось меньше предыдущего, он берется для сравнения с последующими значениями. Если она оказалась больше, остается прежнее значение. Такая процедура повторяется  $N$  раз. Таким образом находят минимальное среди всех испытанных значение  $DR$ . Программа выдает: минимальное значение  $DR$ ; вектор  $a(k)$ , при котором было достигнуто; среднее значение коэффициента отражения каналов; среднее квадратическое отклонение (СКО) коэффициента отражения. По вектору  $a(k)$  определяют функцию  $\varphi(z)$ .

### Результаты и обсуждение

Расчеты производились для пяти- и двенадцатиканальных систем.

Для пятиканальной системы вектор  $a(k)$  равен  $a(k) = 2\pi[0,74; 0,06; 0,86; 0,93; 0,98; 0,86; 0,79; 0,51; 0,18; 0,4; 0,13; 0,03; 0,93; 0,30; 0,3; 0,33; 0,47; 0,65; 0,02; 0,84]$ .

Функция  $\varphi(z)$  имеет вид, представленный на рис. 1.

При величине  $\bar{R} = 99,7\%$  среднее значение коэффициента отражения канала — 0,0055.

Для двенадцатиканальной системы имеем

$$a(k) = 2\pi[0,60; 0,01; 0,89; 0,06; 0,19; 0,26; 0,06; 0,15; 0,38; 0,18; 0,04; 0,17; 0,08; 0,82; 0,18; 0,85; 0,24; 0,25; 0,84; 0,25].$$

Результат представлен на рис. 2.

$$DR = 3,5697 \cdot 10^{-4}; \bar{R} = 98,85\%; \text{СКО} = 0,015.$$

После создания волноводов с очень малым затуханием основной причиной деградации сигнала в волноводе стала хроматическая дисперсия. Излучение с различными длинами волн распространяется в волноводе с разными скоростями, что приводит к расплыванию сигнальных импульсов и, соответственно, к потере информации. Компенсировать хроматическую дисперсию в волноводе можно, переходя к волоконному брэгговскому отражателю с изменяемым периодом решетki  $\Lambda_B$  и модулирующей функции  $\Lambda_s$ . Будем считать, что период решетki и модулирующей функции  $\varphi(z)$  изменяется линейно (линейный чирп).

Хроматическая дисперсия определяется как объемными свойствами материала волновода, так и

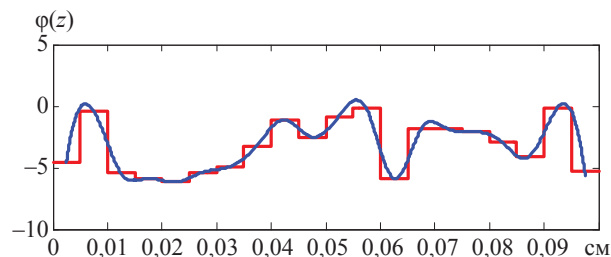


Рис. 1. Моделирующая функция для пятиканального брэгговского отражателя

Fig. 1. Modeling function for a 5-channel Bragg reflector

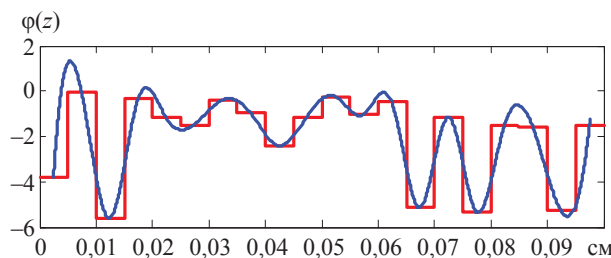


Рис. 2. Моделирующая функция для двенадцатиканального брэгговского отражателя

Fig. 2. Modeling function for a 12-channel Bragg reflector

его волноводными характеристиками, зависящими от размеров волновода, профиля показателя преломления. Удельный коэффициент материальной дисперсии (пс/нм · км) может иметь разные знаки, и для одномодового волокна, волноводный коэффициент которого имеет положительное значение, может произойти компенсация отрицательной материальной дисперсии, приводящая к нулевой результирующей дисперсии при определенной длине волны. Часто для описания хроматической дисперсии волновода пользуются формулой Селлмейера

$$D(\lambda) = \frac{S_0}{4} \left( \lambda - \frac{\lambda_0^4}{\lambda^3} \right),$$

где  $S_0$  — наклон дисперсионной характеристики при  $\lambda = \lambda_0$

$\lambda_0$  — длина волны нулевой дисперсии.

Для ступенчатого одномодового кварцевого волновода  $\lambda_0 = 1310 \pm 10$  нм.

Для одномодового волокна при  $\lambda = 1310 \pm 10$  нм происходит компенсация волноводной и материальной дисперсии. Длину волны излучения сигнала обычно выбирают приблизительно 1550 нм — значение, при котором кварцевое волокно несет наименьшие потери. На этой длине волны одномодовый волновод имеет положительный коэффициент дисперсии  $D = 6,5$  пс/нм · км с наклоном дисперсионной характеристики  $0,04$  пс/нм<sup>2</sup> · км. Брэгговский отражатель вносит запаздывание сигнала, различное для разных длин волн и при определенных параметрах этого отражателя возможна компенсация дисперсии сигнала в волноводе. Для рассмотрения задержки сигнала, вносимой волоконным брэгговским отражателем, необходимо найти зависимость коэффициента отражения от частоты (длины волны). Решение задачи о коэффициенте отражения при произвольной частоте сводится к анализу распространения двух связанных волн (падающей и отраженной) в этой структуре. Задача решается методом матрицы перехода [1–11]. Матрица, связывающая падающую, отраженную и проходящую волны, имеет вид

$$\begin{aligned} F_{11} &= (\text{ch}(\gamma L) + i\Delta\beta L \text{sh}(\gamma L)/(\gamma L)) \exp(i\beta_B L), \\ F_{12} &= -kL \text{sh}(\gamma L) \exp(-i(\beta_B L + \varphi))/(\gamma L), \\ F_{21} &= -kL \text{sh}(\gamma L) \exp(i(\beta_B L + \varphi))/(\gamma L), \\ F_{22} &= (\text{ch}(\gamma L) - i\Delta\beta L \text{sh}(\gamma L)/(\gamma L)) \exp(-i\beta_B L), \\ \Delta\beta &= \beta - \beta_B, \gamma^2 = k^2 - (\Delta\beta)^2, R = |F_{21}/F_{11}|^2, \end{aligned}$$

где  $\beta, \beta_B$  — волновые векторы волны и брэгговской решетки соответственно;

$L$  — длина решетки;

$k$  — коэффициент связи волн.

Если параметры решетки изменяются с координатой, например, при чирпе периода решетки, то решетка делится на слои и результирующая

матрица вычисляется как произведение матриц, относящихся к отдельным слоям

$$F = \prod_{n=1}^N F_n.$$

Время задержки  $\tau(\lambda) = d\varphi/d\omega$  вычисляется как производная фазы коэффициента отражения по частоте.

## Выводы

Соответственно, дисперсия времени задержки является производной  $\tau(\lambda)$  по  $\lambda$ . Дисперсия этого времени при  $\lambda = 1550$  нм равна приблизительно 1280 пс/нм. Из соотношения  $D = 6,5$  пс/нм · км и  $L = 1280$  пс/нм получаем, что хроматическая дисперсия волновода будет скомпенсирована на расстоянии порядка двухсот километров.

Значения задержки сигнала и наклона дисперсионной характеристики пятиканального брэгговского отражателя для компенсации соответствующих показателей волновода получены подбором параметров линейного чирпа периода брэгговской решетки и периода функции модуляции  $\varphi(z)$  ( $\delta\Lambda_B/\Lambda_B = 0,15\%$ ,  $\delta\Lambda_s/\Lambda_s = 1,2\%$ ).

## Список литературы/References

- [1] Mahanta D.K. Design of Uniform Fiber Bragg grating using Transfer matrix // *Int. J. of Comput. Eng. Research*, 2013, vol. 03, pp. 8–13.
- [2] Yamada M., Sakuda K. Analysis of almost-periodic distributed feedback slab waveguides via a fundamental matrix approach // *Applied Optics*, 1987, vol. 26, pp. 3474–3478.
- [3] Li H., Sheng Y., Li Y., Rothenberg J.E. Phased-Only Sampled Fiber Bragg Gratings for High-Channel-Count Chromatic Dispersion Compensation // *J. Lightwave Technol.*, 2003, vol. 21, pp. 2074–2083.
- [4] Miesner C., Asperger T., Brunner K., Abstreiter G. Capacitance-voltage and admittance spectroscopy of self-assembled Ge islands in Si // *Appl. Phys. Lett.*, 2000, vol. 77, pp. 2704–2706.
- [5] Brunner K. *Si/Ge nanostructures* // *Rep. Prog. Phys.*, 2000, vol. 65, pp. 27–72.
- [6] Philips J. Evaluation of the fundamental properties of quantum detectors // *J. Appl. Phys.*, 2002, vol. 91, pp. 4590–4594.
- [7] Dvurechenskii A.V., Nikiforov A.I., Bloskhin A.A., Nenashev A.V., Volodin V.A. Electronic states in *Si/Ge* quantum dots with type-II band alignment // *Physical Review B.*, 2006, vol. 73, pp. 115–121.
- [8] Wang K.L., Cha D., Liu J., Chen C. Ge/Si self-assembled quantum dots and their optoelectronic device applications // *Proc. of the IEEE*, 2007, vol. 95, pp. 1866–1882.
- [9] Li X., Xu W., Cao S., Cai Q., Lu F. Admittance spectroscopy of GeSi-based quantum dot systems: Experiment and Theory // *Physical Review B.*, 2007, vol. 76, pp. 245–257.
- [10] Yakimov A.I. Ge/Si heterostructures with Ge quantum dots for mid-infrared photodiode detectors // *Optoelectronics, Instrumentation and Data Processing*, 2013, vol. 49, pp. 467–475.
- [11] Lozovoy K.A., Voytsekhovskiy A.V., Kokhanenko A.P., Satarov V.G., Phelyakov O.P., Nikiforov A.I. Heterostructures with self-organized quantum dots of Ge on Si for optoelectronic devices // *Opto-Electronics Review*, 2014, vol. 22, pp. 171–177.

## Сведения об авторах

**Серебrenников Павел Семенович** — канд. физ.-мат. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

**Шмаков Андрей Вячеславович** — канд. физ.-мат. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана Мытищинский филиал), -mail: ashmakov62@gmail.ru

**Городецкая Татьяна Александровна** — старший преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 18.08.2016 г.

## THE OPTIMIZATION OF FIBER BRAGG REFLECTOR FOR OPTICAL COMMUNICATION LINES

**P.S. Serebrennikov, A.V. Shmakov, N.A. Gorodetskaya**

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

physp37smat@gmail.com

The numerical calculation of 5 and 12 channel waveguide Bragg reflector has been carried out by using MATLAB. The additional periodic modulation of the refractive index along the optical waveguide is produced to obtain resonant Bragg reflection on a number of frequencies. The shape of this function results from the requirement that the reflectivity in the center of each channel must have a value close to 1. The modulating (sampling) function is approximated by step function, so it is determined by 20-dimensional (according to the number of steps) vector where the  $k$  coordinate value means a height of  $k$  step  $\varphi(z) = \text{ceil}(z/5 \cdot 10^{-3})(a(k)/k)$ . The optimal sampling function is determined by choosing 20-dimensional random vectors, so that it makes possible to minimize the channels' standard reflectivity deviation from 1. For the optimal sampling function developed, the average reflectivity of channels and r.m.s. of this factor have been found. The optimal sampling functions for 5 and 12 channel waveguide are determined. The single mode waveguide at  $\lambda = 1550$  nm (where silicon fiber has the fewest losses) has a positive coefficient of dispersion  $D = 6,5$  ps/nm · km with a slope of dispersion characteristics  $0,04$  ps/nm<sup>2</sup> · km. The Bragg reflector makes a different lag for different waves, and at certain parameters of the Bragg reflector it is possible to compensate chromatic dispersion of a signal in the waveguide. To optimize the fiber Bragg reflector in order to compensate the chromatic dispersion in waveguide, the Bragg reflector with variation of grating chirps and that of sampling function period is considered. The analysis is based on the transfer matrix method. It is obtained that, for the five channel fiber Bragg reflector under certain parameters of the linear grating chirp and those of sampling function period ( $\delta\Lambda_g/\Lambda_g = 0,15$  %,  $\delta\Lambda_s/\Lambda_s = 1,2$  %), the compensation of chromatic dispersion of single mode waveguide takes place at distances of the order of two hundred kilometers.

**Keywords:** fiber Bragg grating, sampling function, reflectivity of the channel, single mode waveguide, chromatic dispersion, chirp of the grating period

**Suggested citation:** Serebrennikov P.S., Shmakov A.V., Gorodetskaya N.A. *Optimizatsiya volokonnogo Breggovskogo otrazhatelya dlya opticheskikh liniy svyazi* [Optimization of fiber Bragg reflector for optical communication lines]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 80–83. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-80-83

### Author's information

**Serebrennikov Pavel Semenovich** — Cand. Sci. (Physico-Mathematical), Assoc. Prof., BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

**Shmakov Andrey Vyacheslavovich** — Cand. Sci. (Physico-Mathematical), Assoc. Prof., BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: ashmakov62@gmail.ru

**Gorodetskaya Tat'yana Aleksandrovna** — senior teacher, BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

Received 18.08.2016

## О НАИБОЛЬШЕМ ПРОДВИЖЕНИИ ПРИ ОГРАНИЧЕННОМ РЕСУРСЕ

А.И. Рубинштейн, П.С. Серебренников, Н.В. Шипов, Т.А. Городецкая

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

Рассматривается следующая задача: на материальную точку действует постоянная по направлению, но переменная по величине сила. Эта сила ограничена по модулю. Очевидно, что материальная точка будет двигаться по прямой. Предполагается наличие трения, пропорционального скорости движения материальной точки. Пусть движение происходит неограниченно во времени, так как уже при мгновенном импульсном воздействии скорость положительна бесконечное время и экспоненциально убывает. Допустим, постоянен интеграл от действующей сторонней силы на всем бесконечном промежутке времени движения. Вопрос: на какое максимальное расстояние может переместиться точка с фиксированной массой? Задача сводится к линейному неоднородному дифференциальному уравнению с постоянными коэффициентами в левой части и переменной сторонней силой воздействия в правой части уравнения. Решение этого уравнения (задача Коши с нулевой начальной скоростью) записывается в виде интеграла Дюамеля. Интегрирование этого решения — скорость движения от нуля до бесконечности — дает величину перемещения материальной точки. Оказывается, что это перемещение зависит не от формы закона изменения действующей силы, а только от интеграла от этой силы по бесконечному промежутку времени движения. Удастся, таким образом, не прибегать к принципу максимума Понтрягина и обойти трудности, возникающие при его применении. Рассматривается и случай, когда время движения ограничено заранее заданной величиной. Решение в этом случае не столь красиво и может быть сведено к решению стандартной задачи линейного программирования. Принципиально рассмотрен и случай, когда сила трения пропорциональна квадрату скорости, — тогда дифференциальное уравнение движения оказывается уравнением Риккати и аналитическое его решение представляет значительные трудности.

**Ключевые слова:** оптимальное управление, сила, законы Ньютона

**Ссылка для цитирования:** Рубинштейн А.И., Серебренников П.С., Шипов Н.В., Городецкая Т.А. О наибольшем продвижении при ограниченном ресурсе // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 84–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-84-86

Реальные технические процессы часто моделируются как управление в задачах, описываемых дифференциальными уравнениями (или системами таких уравнений). Мощным аппаратом решения подобных задач является принцип максимума Л.С. Понтрягина [1]. Однако иногда удается исследовать оптимальное управление более простыми средствами, не прибегая к серьезному аппарату принципа максимума.

Пусть сосредоточенная масса  $m$  прямолинейно движется под воздействием переменной по величине, но постоянной по направлению силы  $F(t)$ , ограниченной как по величине, так и интегрально, т. е.

$$0 \leq F(t) \leq F_{\max}, \int_0^{\infty} F(t) dt = A. \quad (1)$$

Предположим, что на массу действует сила трения, пропорциональная скорости движения  $v(t)$  массы. Как оптимально выбрать управление  $F(t)$ , чтобы масса переместилась на возможно большее расстояние?

По второму закону Ньютона (см., например, [2]),

$$m \frac{dv}{dt} = -kv + F(t), \quad (2)$$

где  $F(t)$  подчиняется ограничениям (1).

Так как даже при отсутствии управления  $F(t)$ , т. е. при  $F(t) = 0$ , решение (2) есть

$$v(t) = v(0) e^{-\frac{k}{m}t},$$

время движения бесконечно (некоторый порок модели торможения с помощью трения). Поэтому в (1) интегрирование до  $+\infty$ .

Если начальное условие в задаче Коши для уравнения (2) взять в виде  $v(0) = 0$ , то получим (см., например, [3])

$$v(t) = e^{-\frac{k}{m}t} \int_0^t \frac{F(\tau)}{m} e^{\frac{k}{m}\tau} d\tau,$$

откуда

$$\begin{aligned} S(\infty) &= \int_0^{\infty} v(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\frac{k}{m}t} \int_0^t \frac{F(\tau)}{m} e^{\frac{k}{m}\tau} d\tau dt = \\ &= \int_0^{\infty} \frac{F(\tau)}{m} e^{\frac{k}{m}\tau} \int_{\tau}^{\infty} e^{-\frac{k}{m}t} dt d\tau = \\ &= \int_0^{\infty} F(\tau) e^{\frac{k}{m}\tau} \frac{1}{k} e^{-\frac{k}{m}\tau} d\tau = \frac{1}{k} \int_0^{\infty} F(\tau) d\tau = \frac{A}{k}. \quad (3) \end{aligned}$$

Результат (3) достаточно любопытен — при любом законе воздействия  $F(t)$ , подчиняющемся ограничениям (1), за бесконечное время мате-

риальная точка переместится на расстояние  $A/k$  [4–8].

Волевым образом ограничим время движения величиной  $T$ , т. е. вместо (1) наложим на  $F(t)$  ограничения

$$0 \leq F(t) \leq F_{\max}, \int_0^T F(t) dt = A.$$

Тогда получим

$$\begin{aligned} S(T) &= \int_0^T v(t) dt = \int_0^T e^{-\frac{k}{m}t} \int_0^t \frac{F(\tau)}{m} e^{\frac{k}{m}\tau} d\tau dt = \\ &= \int_0^T \frac{F(\tau)}{m} e^{\frac{k}{m}\tau} \int_{\tau}^T e^{-\frac{k}{m}t} dt d\tau = \\ &= \int_0^T \frac{F(\tau)}{k} \left(1 - e^{-\frac{k}{m}(T-\tau)}\right) d\tau. \end{aligned} \quad (4)$$

В этом случае уже возможна оптимизация по  $F(t)$ . Замена интеграла в (4) по формуле прямоугольников дает

$$S(T) \approx \frac{T}{kn} \sum_{l=0}^{n-1} F\left(l \frac{T}{n}\right) \left(1 - e^{-\frac{k}{m}(T-l\frac{T}{n})}\right), \quad (5)$$

и максимизация правой части уравнения (5) приведет к стандартной задаче линейного программирования при ограничениях

$$0 \leq F(lT/n) \leq F_{\max}, \sum_{l=0}^{n-1} F\left(l \frac{T}{n}\right) \leq \frac{An}{T}.$$

Без труда можно рассмотреть более общую задачу, где  $m$  и  $k$  являются функциями  $m(t)$  и  $k(t)$ . Тогда

$$S(\infty) = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \frac{k(\tau)}{m(\tau)} d\tau} \int_0^t e^{\int_0^{\tau} \frac{k(\tau)}{m(\tau)} d\tau} \frac{F(u)}{m(u)} du dt. \quad (6)$$

Оптимизация (6) по  $F$  достаточно стандартна [9, 10].

Вместо линейного уравнения (2) можем получить уравнение Риккати

$$m \frac{dv}{dt} = -kv^2 + F(t) [4].$$

Это происходит в случае когда сила трения пропорциональна квадрату скорости  $v^2(t)$ .

### Список литературы

- [1] Понтрягин Л.С. Математическая теория оптимальных процессов. М.: Наука, 1976. 391 с.
- [2] Филиппов А.Ф. Сборник задач по дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1979. 100 с.
- [3] Петровский И.Г. Лекции по теории обыкновенных дифференциальных уравнений. М.; Л.: ГИТТЛ, 1952. 276 с.
- [4] Камке Э. Справочник по обыкновенным дифференциальным уравнениям. М.: Наука, 1965. 576 с.
- [5] Беллман Р. Динамическое программирование. М.: Изд-во иностранной литературы, 1960. 400 с.
- [6] Bushaw D.W. Thesis, Department of Math. Princeton Univ., 1952.
- [7] La Solie J.P. The Time Optimal Control Problem? Contributions to the Theory on Nonlinear Oscillations. Princeton, 1959.
- [8] Фельдбант А.А. О синтезе оптимальных систем с помощью фазового построения // Автоматика и телемеханика, 1955. Т. 16. № 2. С. 129–149.
- [9] Kolmogoroff A. Uber die analitischen methoden in der Warscheinlich-Keitsrechnung // Math. Ann. 1931, no. 104, pp. 415–458.
- [10] Auslender A. Methodes et theorems de dualite / Acad. Sci. Paris Ser, A267, 1968, pp. 114–117.

### Сведения об авторах

**Рубинштейн Александр Иосифович** — д-р физ.-мат. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: rubinshtein\_aleksandr@mail.ru

**Серебренников Павел Семенович** — канд. физ.-мат. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

**Шипов Николай Викторович** — канд. физ.-мат. наук, доцент МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

**Городецкая Татьяна Александровна** — старший преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 18.08.2016 г.

## THE LARGEST DISTANCE COVERED UNDER A LIMITED RESOURCE

**A.I. Rubinshtein, P.S. Serebrennikov, N.V. Shipov, N.A. Gorodetskaya**

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

rubinshtein\_aleksandr@mail.ru

We study the following problem: some material point is under the action of a force which is directionally constant, but, on the other hand, quantitatively variable. This force is limited in absolute magnitude. It is obvious that the material point studied will move in a straight line. It is assumed that the friction available is proportional to the speed of the material point movement. Let the motion be unlimited in time, because even at instantaneous pulse of force the speed is positive for infinite time and decreases exponentially. Let the integral of force over time on all the infinite time span of the movement be constant. Let's ask: what is the maximum distance the point of fixed mass can pass? The problem consists in developing a linear homogeneous differential equation with some constant coefficients in the left part and a variable force in the right part of the equation. The solution of this equation (Cauchy problem with zero initial velocity) is written as a Duhamel integral. The integration of this solution, i.e., the speed of movement from zero to infinity, gives us the distance covered by a material point. It turns out that this movement does not depend on the form of the force change law, and it depends only on the integral of this force along the endless time of movement. Thus, it is possible not to apply the maximum principle of L. S. Pontryagin and to avoid the difficulties encountered in its application. This paper considers also the case when motion is restricted to a predetermined amount of time. The solution in this case is not so beautiful and can be reduced to solving a standard linear programming problem. Basically, the case when the friction force is proportional to the square of the speed has been also considered. In this case, the differential equation of motion turns out to be a Riccati equation and its analytical solution represents a considerable challenge.

**Keywords:** optimal control, force, Newton's laws.

**Suggested citation:** Rubinshtein A.I., Serebrennikov P.S., Shipov N.V., Gorodetskaya N.A. *O naibol'shem prodvizhenii pri ogranichennom resurse* [The largest distance covered under a limited resource]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 84–86. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-84-86

### References

- [1] Pontryagin L.S. *Matematicheskaya teoriya optimal'nykh processov* [Mathematical theory of optimal processes]. Moscow: Nauka Publ., 1976, 391 p. (in Russian)
- [2] Filippov A.F. *Sbornik zadach po differentsial'nym uravneniyam* [Collection of problems on differential equations]. Moscow: Nauka Publ., 1979, 100 p. (in Russian)
- [3] Petrovsky, I.G. *Lekcii po teorii obyknovennykh differentsial'nykh uravneniy* [Lectures on the theory of ordinary differential equations]. Moscow, 1952, 276 p. (in Russian)
- [4] Kamke E. *Spravochnik po obyknovennym differentsial'nym uravneniyam* [Reference Book on ordinary differential equation]. Moscow: Nauka Publ., 1965, 576 p. (in Russian)
- [5] Bellman R. *Dinamicheskoe programmirovaniye* [Dynamic programming]. Moscow: IL Publ., 1960, 400 p. (in Russian)
- [6] Bushaw D.W. Ph. D. Thesis, Department of Math. Princeton Univ., 1952.
- [7] La Solie J.P. *The Time Optimal Control Problem? Contributions to the Theory on Nonlinear Oscillations*, Princeton, 1959.
- [8] Fel'dbant A.A. *O sinteze optimal'nykh sistem s pomoshh'yu fazovogo postrastva* [On the synthesis of optimal systems using the phase postrastva]. *Automation and remote control*, 16, no. 2, 1955, pp. 129-149. (in Russian)
- [9] Kolmogoroff A. *Über die analitischen methoden in der Warscheinlich-Keitsrechnung*, *Math. Ann.* 104, 1931, pp. 415-458.
- [10] Auslender A. *Methodes et theorems de dualite*, *Acad. Sci. Paris Ser, A267*, 1968, pp. 114-117.

### Author's information

**Rubinshteyn Aleksandr Iosifovich** — Dr. Sci. (Physics and Mathematics), Prof., BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: rubinshtein\_aleksandr@mail.ru

**Serebrennikov Pavel Semenovich** — Cand. Sci. (Physico-Mathematical), Assoc. Prof., BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

**Shipov Nikolay Viktorovich** — Cand. Sci. (Physico-Mathematical), Assoc. Prof., BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

**Gorodetskaya Tat'yana Aleksandrovna** — senior teacher, BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: caf-math@mgul.ac.ru

Received 18.08.2016

## ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ОБТЕКАНИЯ АППАРАТА С РАБОТАЮЩИМ ДВИГАТЕЛЕМ

В.И. Мышенков<sup>1</sup>, Е.В. Мышенкова<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт», 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, д. 14

myshenkov@mgul.ac.ru

Приводятся результаты расчетов отрывного течения, возникающего на боковой поверхности летательного аппарата вследствие взаимодействия набегающего потока со струей маршевого двигателя в широких диапазонах изменения определяющих параметров: числа Маха потока и струи, числа Рейнольдса, степени нерасчетности, относительной температуры струи, толщины вязких слоев на срезе сопла и др. Расчеты проводятся с использованием полных уравнений Навье — Стокса. Исследуется динамика развития отрывного течения, приводятся зависимости газодинамических и геометрических параметров отрывной зоны от определяющих параметров задачи:  $M_\infty$ ,  $M_a$ ,  $Re_\infty$ ,  $n$ ,  $T_{ax}$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$ . Установлено, что размеры отрывной области с увеличением  $n$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  и с уменьшением  $M_a$ ,  $T_{ax}$  возрастают. С увеличением  $M_\infty$  размеры отрывной области меняются немонотонно, достигая максимума при  $M_\infty \approx 1,5$ , а затем уменьшаются. При увеличении  $Re_\infty$  длина отрывной области непрерывно возрастает, а высота меняется немонотонно. Давление  $p_m$  в отрывной области с изменением параметров  $M_a$ ,  $T_{ax}$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  меняется слабо, а с увеличением  $M_\infty$  и  $n$  — возрастает пропорционально значению  $\approx n^{0,5} M_\infty$ . С увеличением числа  $Re_\infty$  монотонно уменьшается  $p_m$ . В отрывных областях достаточно больших размеров давление и температура газа практически одинаковы везде, кроме окрестностей точек отрыва и смыкания струйных потоков. При малых значениях  $M_\infty$  отрывную область в основном заполняет газ набегающего потока. С увеличением  $M_\infty$  увеличивается поступление газа в отрывную область из струйного пограничного слоя, и при  $M_\infty \geq 3$  газ струи становится доминирующей долей циркулирующего в отрывной области газа. Догорание остатков горючего в отрывной области может вызвать повышение температуры прилегающей поверхности аппарата.

**Ключевые слова:** струйное течение, выхлопной факел, боковой отрыв

**Ссылка для цитирования:** Мышенков В.И., Мышенкова Е.В. Численное исследование обтекания аппарата с работающим двигателем // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 87–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-87-94

**П**роблема обтекания набегающим потоком воздуха летательного аппарата (ЛА) с работающим маршевым двигателем весьма важна и актуальна, поскольку в процессе движения ЛА происходит существенное расширение выхлопной струи двигателя, вызывающее отрыв течения на поверхности аппарата, которое приводит, особенно при движении под углом атаки, к изменению его аэродинамических и тепловых характеристик и появлению момента сил. Актуальность и важность данной проблемы отмечалась еще в работах [1–7].

Настоящее численное моделирование задачи обтекания аппарата с истекающей выхлопной струей маршевого двигателя выполнено для случая двумерного ламинарного течения совершенного газа на основе численного решения уравнений Навье — Стокса. В расчетах теплофизические характеристики газов струи и набегающего потока принимались одинаковыми.

ЛА в своем движении начиная со старта проходит через три области с существенно различными режимами обтекания: на начальном участке траектории в плотных слоях атмосферы — область турбулентного режима, на средних и больших высотах — ламинарного и на очень больших

высотах в разреженной атмосфере — область свободно-молекулярного режима. Настоящее исследование ламинарного обтекания аппарата охватывает часть трубки его траектории и, следовательно, является важным, актуальным и имеет большое практическое значение.

Настоящая работа является продолжением работы [8], где подробно излагаются постановка задачи, метод ее решения, сравнение результатов расчетов с экспериментальными данными и другие методические элементы, поэтому указанные вопросы здесь не рассматриваются. В работе [8] подробно исследована динамика изменения отрыва потока у поверхности ЛА в зависимости от числа Маха набегающего потока и степени нерасчетности выхлопной струи. В настоящей же работе приводятся результаты исследования влияния на процесс обтекания аппарата и формирования отрыва течения у его поверхности других, не рассмотренных в [8], критериев и параметров подобия.

### Результаты параметрических исследований

Численное исследование задачи обтекания потоком воздуха ЛА с работающим маршевым двигателем проведено в широких диапазонах

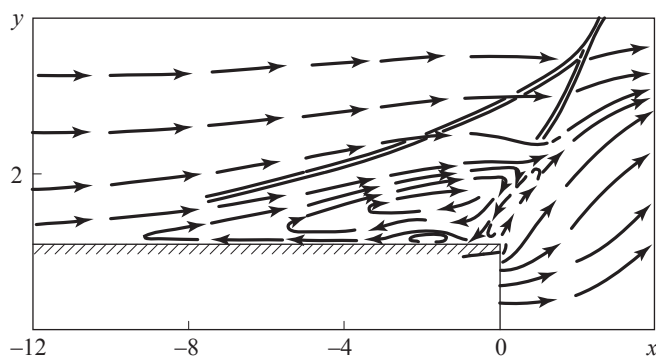


Рис. 1. Картина отрывного течения у поверхности ЛА при  $M_\infty = 4$ ,  $M_a = 2$ ,  $n = 50$ ,  $Re_\infty = 2 \cdot 10^4$   
 Fig. 1. The picture of the separation flow around the aircraft at  $M_\infty = 4$ ,  $M_a = 2$ ,  $n = 50$ ,  $Re_\infty = 2 \cdot 10^4$

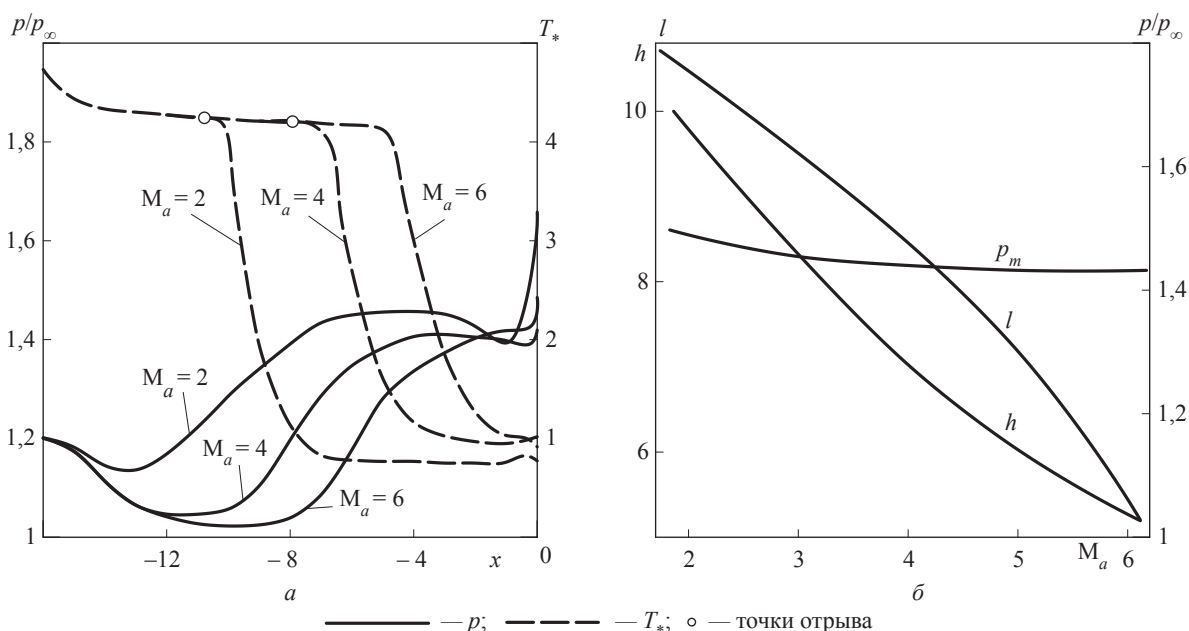


Рис. 2. Влияние  $M_a$ :  $a$  — на распределение давления  $p$  и равновесной температуры  $T_*$  по поверхности цилиндра;  $b$  — на давление «плато»  $p_m$  и размеры отрывной зоны  $l$  и  $h$   
 Fig. 2. The effect of the  $M_a$  number on:  $a$  — the pressure distribution  $p$  and the equilibrium temperature  $T_*$  on the cylinder surface,  $b$  — the «plateau» pressure  $p_m$  and the separation zone sizes  $l$  and  $h$

значений определяющих параметров: числа Маха выхлопной струи  $M_a$ , числа Рейнольдса  $Re_\infty$ , относительной температуры газа  $T_{a\infty} = T_a/T_\infty$  струи — 1 и набегающего потока — 8, показатель адиабаты  $\gamma_\infty = \gamma_a = 1,4$ ,  $T_\infty = 300$  К, и различной толщине вязких слоев на входе в расчетную область ( $\delta_\infty$ ) и на срезе сопла ( $\delta_a$ ). Здесь и далее нижние индексы  $\infty$  и  $a$  у переменных обозначают параметры течения в набегающем потоке и в струе на срезе сопла соответственно.

Расчеты проведены конечно-разностным методом расщепления [9] на существенно неравномерных сетках, чтобы получить решение для возможно максимального числа Рейнольдса. Используемый вариант разностной схемы и решаемая система уравнений приведены в работе [10].

Исследовали особенности обтекания ЛА при работающем маршевом двигателе, изучали воз-

никновение и динамику развития отрывного течения, изменения распределения давления и равновесной температуры стенки  $T_*$  на поверхности аппарата. Координаты точек отрыва течения определяли по изменению знака напряжения трения, которое аппроксимировали конечными разностями со вторым порядком точности. Также со вторым порядком точности аппроксимировали тепловой поток к поверхности тела при определении  $T_*$ .

Типичная картина течения, возникающая при полете ЛА с работающим маршевым двигателем начиная с некоторой высоты (т. е. при значениях нерасчетности  $n = p_a/p_\infty > 1$ ), схематически представлена на рис. 1. У поверхности ЛА образуются области отрыва потока с возвратным течением и почти постоянным давлением, большим положительным градиентом давления в окрестности



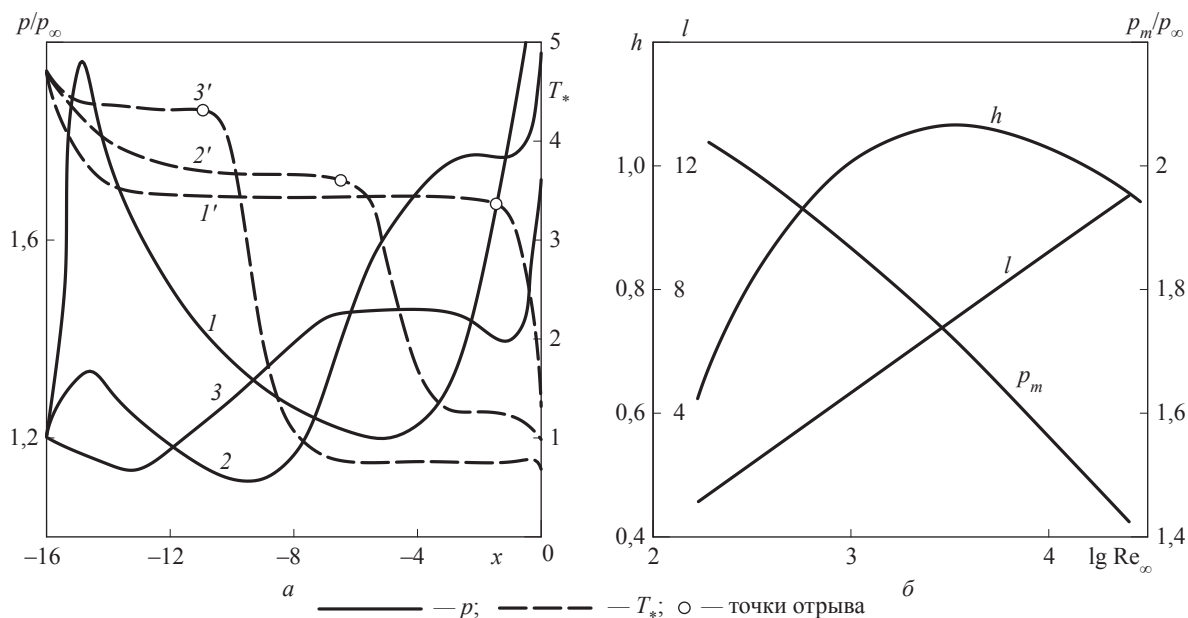


Рис. 3. Влияние  $Re_\infty$ : *a* — на распределение давления  $p$  и равновесной температуры  $T_*$  по боковой поверхности цилиндра; *b* — на давление «плато»  $p_m$  и размеры отрывной зоны  $l$  и  $h$   
 Fig. 3. The effect of the  $Re_\infty$  number on: *a*) the pressure distribution  $p$  and the equilibrium temperature  $T_*$  on the surface of the cylinder, *b* — the «plateau» pressure  $p_m$  and the separation zone sizes  $l$  and  $h$

точки отрыва и наличием  $\lambda$ -образного скачка при сверхзвуковой скорости набегающего потока.

Рассматриваемая задача обтекания ЛА с работающим маршевым двигателем физически эквивалентна задаче обтекания цилиндра с коническим стабилизатором (тормозной «юбкой») или плоской задаче обтекания ступеньки. Пользуясь этой аналогией, на основании имеющихся экспериментальных данных обтекания, например, цилиндра с коническим стабилизатором, можно заранее предсказать некоторые качественные результаты влияния различных факторов на картину течения и отрывную зону исследуемой задачи. Например, зная, что увеличение  $M_a$  вызывает уменьшение угла разворота струи и удлинение ее бочкообразной структуры (это эквивалентно уменьшению угла конического стабилизатора), можно предсказать уменьшение отрывной области и давления в ней с увеличением  $M_a$ .

Влияние числа Маха струи  $M_a$  на структуру и параметры течения исследовалось для постоянных значений  $M_\infty = 4$ ,  $Re_\infty = 2 \cdot 10^4$ ,  $n = 50$ ,  $T_{a\infty} = 1$  при изменении  $M_a$  в диапазоне  $2 \leq M_a \leq 6$ . Характер распределения давления на боковой поверхности тела, как показывают расчеты, для разных  $M_a$  примерно одинаки и те же (рис. 2, *a*). С увеличением  $M_a$  наблюдается лишь деформация (смещение по оси  $x$ ) кривых давления, уменьшение давления перед точкой отрыва и некоторое изменение давления в отрывной зоне (небольшое уменьшение давления «плато»  $p_m$ ). Градиент давления в окрестности точки отрыва при этом несколько увеличивается,

а размеры отрывной области — длина  $l$  и высота  $h$  уменьшаются (рис. 2, *b*).

Распределение равновесной температуры стенки  $T_*$  на поверхности ЛА (рис. 2, *a*), при разных  $M_a$  равномерно, только с началом резкого изменения  $T_*$  с увеличением  $M_a$  смещается в направлении к кормовой части тела, т. е. происходит сокращение отрывной зоны. Значение  $T_*$  до точек отрыва одинаково при всех  $M_a$ , а в отрывной зоне с увеличением  $M_a$  несколько возрастает, что свидетельствует о сокращении количества поступающего в отрывную область газа из струйного течения вследствие уменьшения угла разворота.

Поскольку воздействие вязкости является одним из главных факторов, обуславливающих образование отрыва потока, интересно рассмотреть влияние  $Re_\infty$  на картину обтекания аппарата. Такое исследование, проведенное при изменении числа Рейнольдса в диапазоне  $2 \cdot 10^2 \leq Re_\infty \leq 2 \cdot 10^4$  при постоянных значениях остальных параметров подобия  $M_a = 2$ ,  $M_\infty = 4$ ,  $n = 50$ ,  $T_{a\infty} = 1$ , показало его сильное влияние на течение. С уменьшением  $Re_\infty$  на поверхности тела у левой границы области счета образуется усиливающийся пик давления (рис. 3, *a*, цифры 1, 2, 3 и 1', 2', 3' у кривых соответствуют  $Re_\infty$ , равному  $2 \cdot 10^2$ ,  $2 \cdot 10^3$ ,  $2 \cdot 10^4$ ), возникающий в силу недостаточно корректного задания на границе вязкого слоя постоянной толщины с одинаковым распределением скорости.

Далее по образующей цилиндра возникает область минимального давления на теле, за которой давление вновь повышается, приводя к

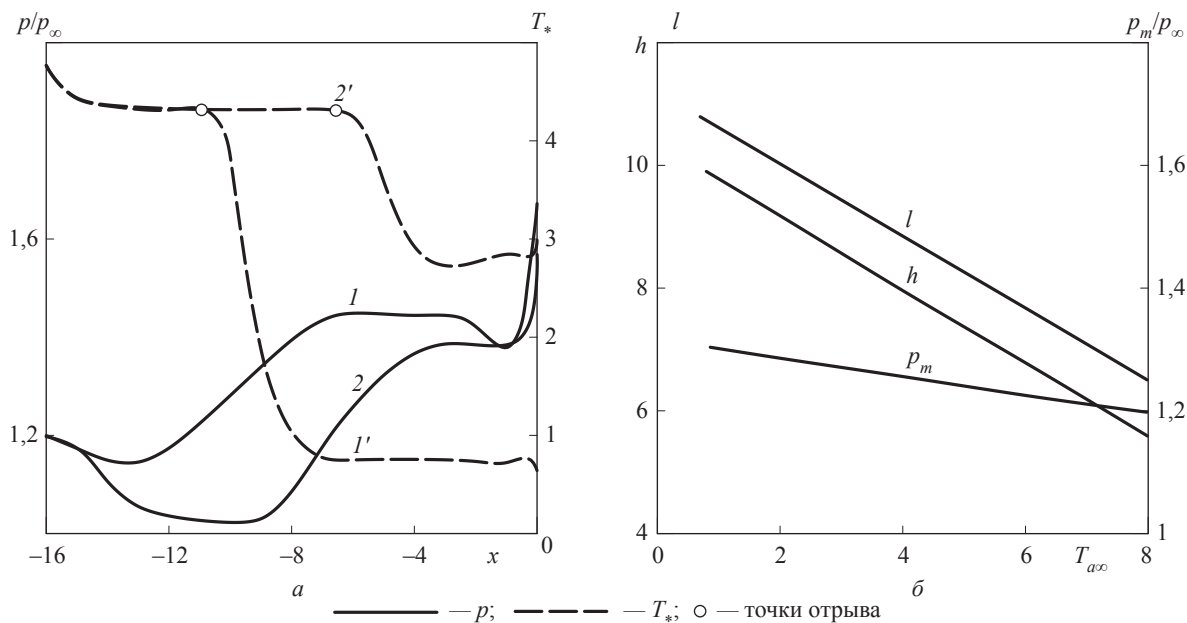


Рис. 4. Влияние  $T_\infty$ : а — на распределение давления  $p$  и равновесной температуры  $T_*$  по боковой поверхности цилиндра; б — на давление «плато»  $p_m$  и размеры отрывной зоны  $l$  и  $h$   
 Fig. 4. The effect of the of  $T_\infty$  on: а — the pressure distribution  $p$  and the equilibrium temperature  $T_*$  on the surface of the cylinder; б — the «plateau» pressure  $p_m$  and the separation zone sizes  $l$  and  $h$

отрыву потока непосредственно перед истекающей струей. Положительный градиент давления, вызывающий отрыв потока, и давление в отрывной зоне при этом увеличиваются (рис. 3). Перераспределение давления с уменьшением числа  $Re_\infty$  приводит к уменьшению размеров области отрыва. Зависимость длины области отрыва от  $Re_\infty$  имеет почти логарифмический характер. Согласно расчетным данным, отрывная область

перед истекающей струей, в отличие от отрывной области для случая обтекания ступеньки, с уменьшением  $Re_\infty$  должна исчезнуть при  $Re_\infty \approx 10^2$ . Это объясняется недостаточным повышением  $grad p$  перед струей с уменьшением  $Re_\infty$  из-за понижения угла разворота струи вследствие гибкости ее границы. Максимальная высота области отрыва с изменением  $Re_\infty$  меняется немонотонно — достигает максимума при  $Re_\infty \approx 3 \cdot 10^3$  и становится равной нулю при  $Re_\infty \approx 10^2$ . При больших значениях  $Re_\infty$ , когда образуются большие отрывные области, распределение давления в зоне отрыва имеет характерные «полки» с постоянным давлением на большей части отрывной зоны. С уменьшением  $Re_\infty$  размеры «полки» давления, как и размеры области отрыва, сокращаются, и при  $Re_\infty \approx 2 \cdot 10^2$  «полка» давления пропадает. Давление поперек области отрыва везде, кроме окрестностей точки отрыва и кормовой части тела, практически постоянно.

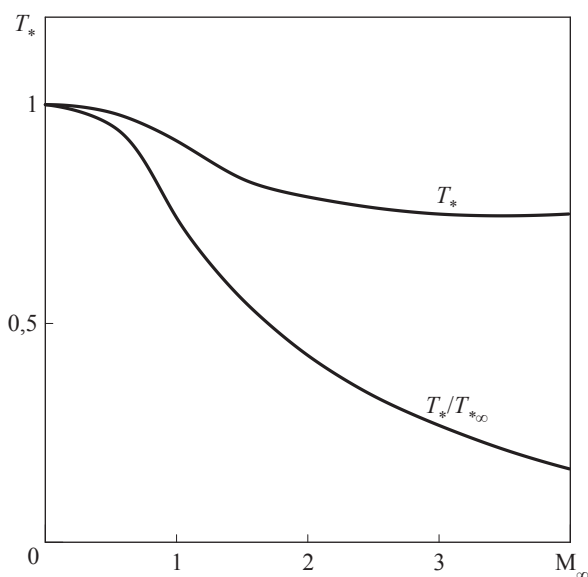


Рис. 5. Изменение с  $M_\infty$  равновесной температуры стенки в зоне отрыва  
 Fig. 5. Effect of  $M_\infty$  on equilibrium wall temperature in the separation zone

Равновесная температура  $T_*$  вдоль цилиндрической поверхности тела распределяется монотонно и резко падает сразу же после точки отрыва (см. рис. 3, а). Изменение  $T_*$  до точки отрыва идет плавно и обуславливается ростом толщины пограничного слоя обтекающего потока. Резкое снижение  $T_*$  в области отрыва вызвано притоком туда охлажденного газа от истекающей струи (из-за ее расширения). С уменьшением  $Re_\infty$  значение  $T_*$  перед точкой отрыва понижается благодаря утолщению вязкого пристеночного слоя, а в отрывной зоне увеличивается из-за сокращения

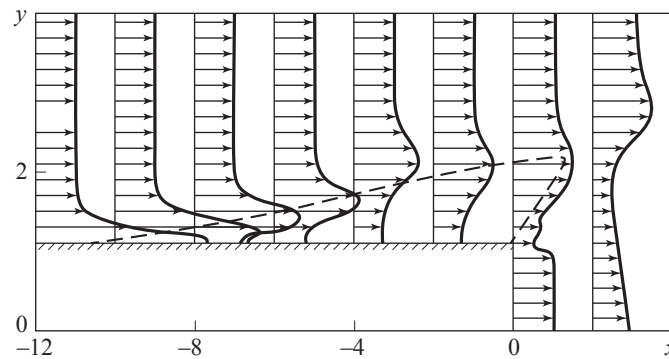


Рис. 6. Распределение температуры в различных поперечных сечениях течения при  $M_\infty = 4$ ,  $M_a = 2$ ,  $n = 50$ ,  $Re_\infty = 2 \cdot 10^4$ ,  $T_{a\infty} = 1$

Fig. 6. Temperature distribution in different cross sections of the flow at  $M_\infty = 4$ ,  $M_a = 2$ ,  $n = 50$ ,  $Re_\infty = 2 \cdot 10^4$ ,  $T_{a\infty} = 1$

размеров области отрыва и снижения притока холодного газа струи.

В связи с обнаружением резкого уменьшения  $T_*$  в области отрыва, свидетельствующего о притоке туда охлажденного газа расширяющегося струйного течения, были проведены исследования влияния относительной температуры газа струи  $T_{a\infty} = T_a/T_\infty$  на параметры отрывного течения при  $M_a = 2$ ,  $M_\infty = 4$ ,  $Re_\infty = 2 \cdot 10^4$ ,  $n = 50$  для  $T_{a\infty} = 1$  и  $T_{a\infty} = 8$  (т. е. при  $T_\infty = 300$  К  $T_a = 300$  К и 2400 К).

Как показали расчеты, изменение относительной температуры струи  $T_{a\infty}$  оказывает на картину обтекания аппарата воздействие, аналогичное воздействию изменения  $M_a$ . Это нетрудно было предвидеть, поскольку увеличение  $T_{a\infty}$  вызывает возрастание деформации границы струи вследствие снижения ее плотности, что приводит к уменьшению угла расширения струи под воздействием набегающего потока.

С увеличением  $T_{a\infty}$ , как и с увеличением  $M_a$ , деформируется функция распределения давления на поверхности тела (рис. 4, а), уменьшаются размеры  $l$  и  $h$  области отрыва, давление в ней понижается (рис. 4, б), а значение  $T_*$  в отрывной зоне увеличивается (см. рис. 4, а, цифры 1, 2 и 1', 2' у кривых соответствуют  $T_{a\infty} = 1$  и  $T_{a\infty} = 8$ ). При этом повышение  $T_*$  в области отрыва при увеличении  $T_{a\infty}$  оказывается значительно большим, чем при увеличении  $M_a$ . Данный факт доказывает, что величина  $T_*$  в отрывной зоне определяется в основном притоком газа струи, который там и циркулирует.

При обтекании ЛА на его поверхности благодаря торможению газа образуется пограничный слой с высокой температурой, близкой к  $T_*$ . В точке отрыва течения этот нагретый слой газа отрывается от стенки и не попадает в отрывную область. Поэтому температура газа в отрывной области оказывается значительно меньше среднего значения  $T_*$  перед отрывом пограничного слоя и статической температуры набегающего

течения. Следовательно, отрывную область в основном заполняет холодный газ из струйного пограничного слоя (рис. 5). Это подтверждают данные распределения статической температуры в отрывной зоне (рис. 6). Таким образом, в отрывную область в значительном количестве попадает газ из выхлопной струи, перемешивается с воздухом и догорает.

Исходя из физических соображений ясно, что состав газа, заполняющего область отрыва, определяется соотношением значений кинетической энергии оторвавшегося пограничного слоя обтекающего потока и пограничного слоя выхлопной струи в области их взаимодействия в кормовой части аппарата, где происходит разделение течений и окончательное формирование области отрыва, а также диффузией газов. В результате в отрывную область, очевидно, поступает газ, имеющий меньшую кинетическую энергию. При малых значениях числа Маха набегающего потока, когда энергия отрывающегося пограничного слоя меньше кинетической энергии пограничного слоя выхлопной струи, отрывную область заполняет газ набегающего потока, а температура в отрывной зоне оказывается близкой к полной температуре внешнего течения (см. рис. 6). С возрастанием  $M_\infty$  повышается кинетическая энергия струек пограничного слоя обтекающего потока, и увеличивается поступление в область отрыва холодного газа выхлопной струи, что вызывает понижение температуры в области отрыва (см. рис. 5). При  $M_\infty \geq 3$ , как показали качественные оценки по величинам равновесной температуры стенки, выхлопные газы струи составляют значительную часть газов, заполняющих отрывную область. Для более точной количественной оценки состава газа в отрывной области необходимо решить уравнения Навье — Стокса совместно с уравнением концентрации для двухкомпонентной среды

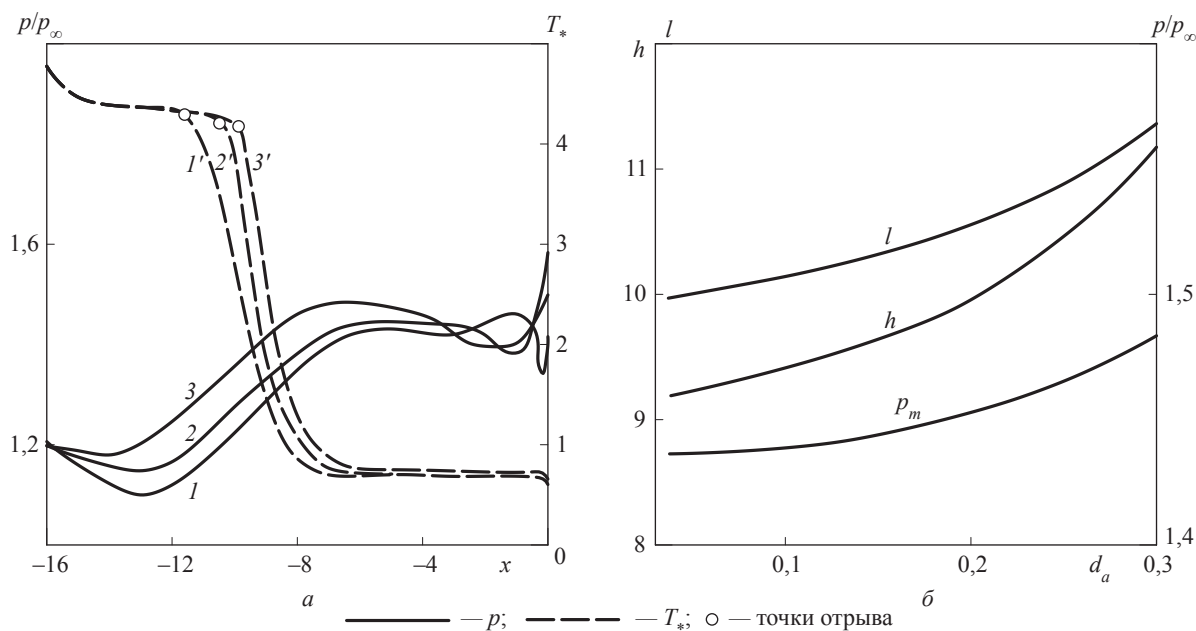


Рис. 7. Влияние  $\delta_a$ : а — на распределение давления  $p$  и равновесной температуры  $T_*$  по поверхности цилиндра; б — на давление «плато»  $p_m$  и размеры отрывной зоны  $l$  и  $h$   
 Fig. 7. The effect of  $\delta_a$  on: а — the pressure distribution  $p$  and the equilibrium temperature  $T_*$  on the surface of the cylinder, б — the «plateau» pressure  $p_m$  and the separation zone sizes  $l$  and  $h$

Исследование влияния толщины  $\delta_a$  вязкого слоя струи на срезе сопла, проведенное при изменении  $\delta_a$  в диапазоне  $0,04 \leq \delta_a \leq 0,3$  и постоянных значениях  $M_a = 2$ ,  $M_\infty = 4$ ,  $Re_\infty = 2 \cdot 10^4$ ,  $n = 50$ ,  $T_{a\infty} = 1$ , показало, что уменьшение  $\delta_a$  оказывает на отрывное течение такое же воздействие, как и увеличение  $M_a$ , поскольку оба эти фактора приводят к возрастанию кинетической энергии пристеночных струек тока струи. В результате снижается приток газа струи в отрывную зону, что приводит к смещению кривой распределения давления на боковой поверхности тела (рис. 7, а), понижению давления в отрывной зоне, сокращению ее размеров (рис. 7, б) и небольшому повышению равновесной температуры стенки в отрывной зоне (см. рис. 7, а, цифры 1, 2, 3 и 1', 2', 3' у кривых соответствуют значениям  $\delta_a$ , равным 0,04, 0,18, 0,3).

С другой стороны, увеличение толщины вязкого слоя на боковой поверхности тела  $\delta_\infty$  в диапазоне  $0,1 \leq \delta_\infty \leq 0,5$  (на входной границе области счета), как показали расчеты, проведенные при  $M_a = 2$ ,  $M_\infty = 4$ ,  $Re_\infty = 2 \cdot 10^4$ ,  $n = 50$ ,  $T_{a\infty} = 1$ , приводит к снижению кинетической энергии в пристеночных струйках обтекающего потока. В результате возрастает приток газа набегающего потока в отрывную зону, вызывая соответствующие изменения распределения давления, размеров отрывной зоны и повышения равновесной температуры стенки в отрывной зоне (рис. 8, а цифры 1, 2, и 1', 2' у кривых соответствуют значениям  $\delta_\infty$ , равным 0,2, 0,4).

Анализ полученных результатов показывает, что угол образующейся отрывной зоны при изменении определяющих параметров  $n$ ,  $T_{a\infty}$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  в исследованных диапазонах при  $M_a$  и  $M_\infty > 2$ ,  $n > 20$  практически не изменяется или изменяется очень мало. Давление «плато»  $p_m$  в отрывной зоне с изменением  $M_a$ ,  $T_{a\infty}$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  изменяется слабо, а с увеличением  $M_\infty$  и  $n$  возрастает пропорционально величине  $\approx n^{0,3} M_\infty$ . Наибольшие изменения отрывная зона претерпевает с увеличением  $Re_\infty$ . При этом угол наклона отрывной зоны и давление «плато» в ней монотонно уменьшаются. Длина отрывной зоны в исследованных диапазонах изменения определяющих параметров с увеличением  $M_\infty$ ,  $n$ ,  $\lg(Re_\infty)$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  и уменьшением  $M_a$ ,  $T_{a\infty}$  возрастает почти линейно.

### Выводы

1. На основе уравнений Навье — Стокса исследовано возникновение и развитие отрыва обтекающего ЛА потока под действием струи маршевого двигателя. Исследование проведено в широких диапазонах определяющих параметров.

2. Установлено, что размеры отрывной области с увеличением  $n$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  и с уменьшением  $M_a$ ,  $T_{a\infty}$  возрастают. С увеличением  $M_\infty$  размеры отрывной области изменяются немонотонно, достигая максимума при  $M_\infty \approx 1,5$ , а затем уменьшаются. При увеличении  $Re_\infty$  длина отрывной области непрерывно возрастает, а высота изменяется немонотонно.

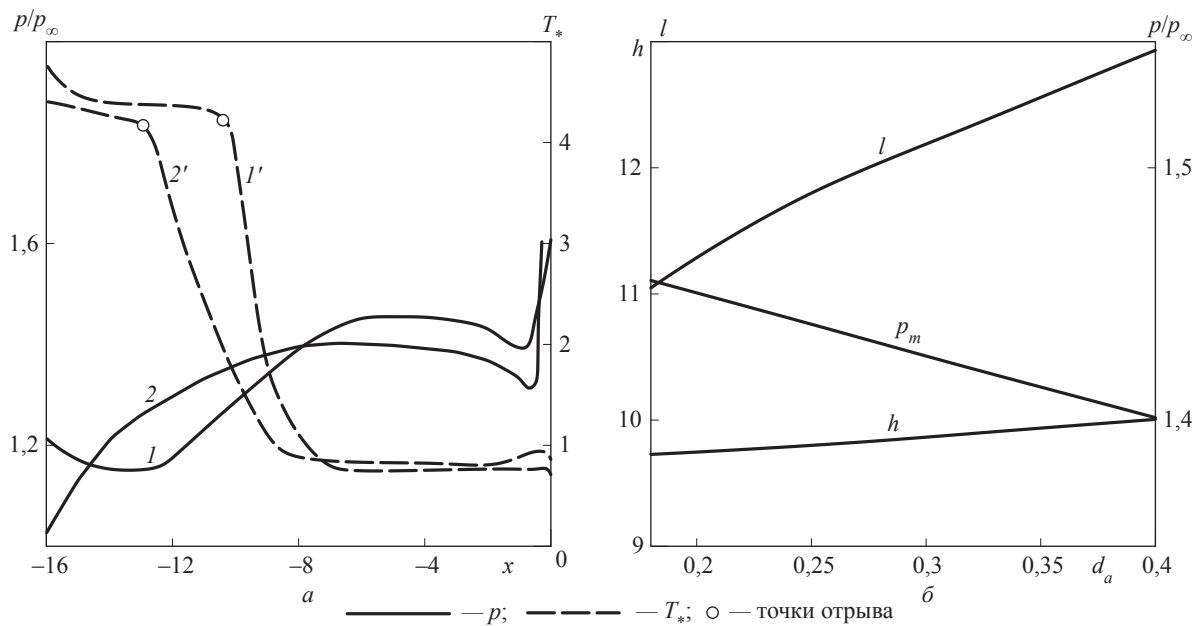


Рис. 8. Влияние  $\delta_\infty$ :  $a$  — на распределение давления  $p$  и равновесной температуры  $T_*$  по поверхности цилиндра;  $b$  — на давление «плато»  $p_m$  и размеры отрывной зоны  $l$  и  $h$   
 Fig. 8. The effect of  $\delta_\infty$  on:  $a$  — the pressure distribution  $p$  and the equilibrium temperature  $T_*$  on the surface of the cylinder,  $b$  — the «plateau» pressure  $p_m$  and the separation zone sizes  $l$  and  $h$

3. Угол возникающей отрывной области при изменении определяющих параметров в исследованных диапазонах при  $M_a > 2$ ,  $M_\infty > 2$ ,  $n > 20$  практически не изменяется.

4. Давление  $p_m$  в отрывной области с изменением параметров  $M_a$ ,  $T_{a\infty}$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  изменяется слабо, а с увеличением  $M_\infty$  и  $n$  возрастает пропорционально значению  $\approx n^{0.5}M_\infty$ . С увеличением  $Re_\infty$  значение  $p_m$  монотонно уменьшается.

5. Давление и температура газа в отрывной области достаточно большого размера практически одинаковы везде, кроме окрестностей точек отрыва и смыкания струйных потоков.

6. При малых значениях числа  $M_\infty$  отрывную область в основном заполняет газ набегающего потока. С увеличением  $M_\infty$  увеличивается поступление в отрывную область газа из струйного пограничного слоя, и при  $M_\infty \geq 3$  он становится доминирующей частью циркулирующего в отрывной области газа. Догорание остатков горючего в отрывной области может вызвать повышение температуры прилегающей поверхности аппарата.

## Сведения об авторах

**Мышенков Виталий Иванович** — док. физ.-мат. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: myshenkov@mgul.ac.ru

**Мышенкова Елена Витальевна** — канд. физ.-мат. наук, доцент Национального исследовательского университета «Московский энергетический институт», e-mail: myshenkov@mgul.ac.ru

## Список литературы

- [1] Goethert B.H. Base characteristics of Missiles with Cluster-Rocket Exhausts // JAS Paper, 1960, no. 49, pp. 60–89.
- [2] Carriere P., Siriex M. Effects aerodynamique de l'éclatement d'un jet de fusée // Recherche Aer., 1962, no. 89, pp. 3–10.
- [3] Alpinieri L., Adams R. Flow separation due to jet pluming // AIAA J., 1965, no. 10, pp. 1865–1866.
- [4] Carriere P. Recherches Recent Effectuées à l'ONERA sur les problemes de recollement // 7th Fluid Dynamic Symposium, 1956, Sept, 23 p.
- [5] Adams R. Wind Tunnel Testing techniques for Gas-Particle Flows in Rocket Exhaust Plumes // AIAA Paper, 1966, pp. 66–767.
- [6] Boger R.C., Rosenbaum H., Reeves B.L. Flow Field Interactions Induced by Underexpanded Exhaust Plumes // AIAA Paper, 1971, no. 10, pp. 71–562.
- [7] Шлягун А.Н. Взаимодействие сильно недорасширенной сверхзвуковой струи со спутным гиперзвуковым потоком // Уч. зап. ЦАГИ, 1973. Т. 10. № 3. С. 37–47.
- [8] Мышенков В.И. Образование бокового отрыва потока при подъеме летательного аппарата // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 2 (94). С. 167–174.
- [9] Ковеня В.М., Яненко Н.Н. Методы расщепления в задачах газовой динамики. Новосибирск: Наука, 1981. 304 с.
- [10] Ковалев Б.Д., Мышенков В.И. Расчет вязкой сверхзвуковой струи, истекающей в затопленное пространство // Уч. зап. ЦАГИ, 1978. Т. 9. № 2. С. 9–18.

Статья поступила в редакцию 06.03.2017 г.

## COMPUTATIONAL RESEARCH OF FLOWING AROUND A VEHICLE WITH ENGINE-ON

V.I. Myshenkov<sup>1</sup>, E.V. Myshenkova<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>National Research University «MPEI», Krasnokazarmennaya 14, Moscow, 111250 Russia

myshenkov@mgul.ac.ru

The results of numerical modelling of the separated flow over the side surface of an aircraft due to the interaction of the outer air stream and the jet flow from the jet propulsion engine over a wide range of the defining parameters are described: Mach numbers of stream and jet flow, Reynolds numbers, the ratio of ambient pressure and the nozzle pressure, a relative jet temperature, thickness of viscous layers on the nozzle exit, etc. All calculations have been carried out by using the complete set of Navier–Stokes equations. The dynamics of separated flow development has been investigated, the dependences of gasdynamic and geometrical properties of the separated zone on the problem parameters:  $M_\infty$ ,  $M_a$ ,  $Re_\infty$ ,  $n$ ,  $T_{a\infty}$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  are described. It has been found that the size of the separation region increase with the growth of  $n$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$  and with the reduction of  $M_a$ ,  $T_{a\infty}$ . With the growth of  $M_\infty$  the size of the separation region reaches its maximum at  $M_\infty \approx 1.5$  and then decreases. With increasing  $Re_\infty$ , the length of the separation region continuously increases, the height changes in a non-monotonic way. The pressure  $p_m$  in the separation region slightly depends on the following parameters:  $M_a$ ,  $T_{a\infty}$ ,  $\delta_a$ ,  $\delta_\infty$ , and with the increase of  $M_\infty$  and  $n$  it increases in proportion to the value  $(n^{0.5} \times M_\infty)$ . With the growth of the  $Re_\infty$  number  $p_m$  monotonically decreases. In sufficiently large separated areas the gas pressure and its temperature are almost the same everywhere except in the points next to the separation and interaction of the jet flows. For small  $M_\infty$  numbers the gas flow of windstream largely fills the separation area. With the increase of  $M_\infty$  the gas flow from the jet boundary layer increases in the separation region and at  $M_\infty \geq 3$  it becomes a dominant gas part circulating in the gas separation region. The afterburning of fuel residues in the separation region can cause a rise in temperature adjacent surface of the device. For small numbers  $M_a$  the detachable area is largely fills the gas flow. With the increase of  $M_\infty$  the gas influx into the separation region from the jet boundary layer increases, and at  $M_\infty \geq 3$  jet gas becomes a dominant part of the gas circulating in the separation region. The afterburning of remaining fuel in the separation region can result in the temperature rise on the adjacent aircraft surface.

**Keywords:** jet flow, jet flame, side edge separation.

**Suggested citation:** Myshenkov V.I., Myshenkova E.V. *Chislennoe issledovanie obtekaniya apparata s rabotayushchim dvigatelem* [Computational research of flowing around a vehicle with engine-on]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 87–94. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-87-94

### References

- [1] Goethert B.H. Base characteristics of Missiles with Cluster-Rocket Exhausts // JAS Paper, 1960, no. 49, pp. 60–89.
- [2] Carriere P., Sirix M. Effects aerodynamique de l'éclatement d'un jet de fusée // Recherche Aer., 1962, no. 89, pp. 3–10.
- [3] Alpinieri L., Adams R. Flow separation due to jet pluming // AIAA J., 1965, no. 10, pp. 1865–1866.
- [4] Carriere P. Recherches Recent Effectuées à l'ONERA sur les problemes de recollement // 7th Fluid Dynamic Symposium, 1956, Sept, 23 p.
- [5] Adams R. Wind Tunnel Testing techniques for Gas-Particle Flows in Rocket Exhaust Plumes // AIAA Paper, 1966, pp. 66–767.
- [6] Boger R.C., Rosenbaum H., Reeves B.L. Flow Field Interactions Induced by Underexpanded Exhaust Plumes // AIAA Paper, 1971, no. 10, pp. 71–562.
- [7] Shlyagun A.N. *Vzaimodeystvie sil'no nedorasshirennoy sverkhzvukovoy strui so sputnym giperzvukovym potokom* [Interaction of a strongly underexpanded supersonic jet with a hypersonic sputtered flow] *Uchebnye zapiski TsAGI [Teaching notes TsAGI]*, 1973, T. 10, № 3, pp. 37–47. (in Russian)
- [8] Myshenkov V.I. *Obrazovanie bokovogo otryva potoka pri pod"eme letatel'nogo apparata* [Formation of a lateral flow separation during the lifting of an aircraft] *Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik*, 2013, № 2 (94), pp. 167–174. (in Russian)
- [9] Kovenya V.M., Yanenko N.N. *Metody rasshchepleniya v zadachakh gazovoy dinamiki* [Methods of splitting in gas dynamics problems]. Novosibirsk: Nauka Publ., 1981, 304 p. (in Russian)
- [10] Kovalev B.D., Myshenkov V.I. *Raschet vyazkov sverkhzvukovoy strui, istekayushchey v zatoplennoe prostranstvo* [Calculation of viscous supersonic jet flowing into flooded space] *Uchebnye zapiski TsAGI [Teaching notes TsAGI]*, 1978, T. 9, № 2, pp. 9–18. (in Russian)

### Author's information

**Myshenkov Vitaly Ivanovich** — Dr. Sci. (phis.-math.), Professor of BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: myshenkov@mgul.ac.ru

**Myshenkova Elena Vitalievna** — Cand. Sci. (phis.-math.), Associate Professor of National Research University «MPEI», e-mail: myshenkov@mgul.ac.ru

Received 06.03.2017

## О СОПРОТИВЛЕНИИ ВОДЫ ДВИЖЕНИЮ МЯГКИХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ЕМКостей С ТВЕРДЫМ НАПОЛНИТЕЛЕМ

А.Н. Комяков, В.И. Запруднов, С.П. Карпачев, М.А. Сорокин

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

Приведены результаты исследований гидродинамических характеристик одиночной мягкой плавучей цилиндрической емкости с твердым наполнителем. Установлены определяющие факторы и обоснованы условия физического моделирования процесса взаимодействия емкости с водным потоком. Разработаны математические модели для определения сопротивления воды продольному и поперечному перемещению мягких плавучих емкостей в зависимости от их геометрических параметров и скоростного режима в условиях безграничного потока и мелководья.

**Ключевые слова:** мягкие плавучие контейнеры, мобильное гидротехническое сооружение, плотина, дамба, транспортировка, сопротивление движению

**Ссылка для цитирования:** Комяков А.Н., Запруднов В.И., Карпачев С.П., Сорокин М.А. О сопротивлении воды движению мягких цилиндрических емкостей с твердым наполнителем // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 95–100. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-95-100

На кафедре промышленного транспорта и Строительства МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана (до 2016 — МГУЛ) в последние годы проводятся работы по применению современных синтетических материалов на водном транспорте лесных грузов и обустройстве водных путей. Разработаны конструкции плавучих контейнеров [1–4], контейнерных плотов [5] и технологии водной доставки лесных грузов в этих лесотранспортных единицах. Исследованы гидродинамические характеристики и транспортные качества контейнерных плотов и составов [6–9]. Разработан и испытан на практике ряд конструкций быстровозводимых гидротехнических сооружений (ГТС) наполняемого типа на основе мягких цилиндрических емкостей [10–12].

Отличительной особенностью разработанных конструкций ГТС является их мобильность, т. е. возможность перемещения между местами установки по воде за счет переменной плавучести и изменения осадки сооружения в широких пределах.

Достоинствами мобильных ГТС данного типа являются минимальное время монтажа без предварительной подготовки основания, низкая стоимость и высокая степень заводской готовности. Они могут применяться в виде дамб, плотин, запруд и полузапруд, наносоаккумулирующих сооружений и т. п. на обустройстве лесосплавных путей, в сельском и рыбном хозяйстве, при создании противопожарных водоемов, в сфере туризма и отдыха.

Основным элементом мягких плавучих контейнеров для сыпучих лесных грузов и мягких мобильных гидротехнических сооружений является емкость из синтетического материала, приобретающая в наполненном состоянии фор-

му, близкую к цилиндру с полусферическими окончаниями, горизонтально расположенному на водной поверхности. В зависимости от объема веса груза (или наполнителя ГТС) степень его погружения (осадка) может изменяться в широких пределах от минимальных значений до практически полного погружения в воду.

При транспортировке и выполнении переместительных операций плавучие контейнеры и мобильные ГТС испытывают сопротивление воды своему движению. Зависимость сопротивления воды  $R$  их перемещению от скорости  $V$  — важнейшая гидродинамическая характеристика, необходимая для транспортных и прочностных расчетов. Влияние сопротивления воды особенно сильно проявляется при транспортировке по мелководью и при поперечном перемещении.

Теоретически описать процесс гидродинамического взаимодействия подобных тел с водным потоком не представляется возможным в связи со сложной формой мягкой наполненной оболочки. Поэтому для решения данной задачи был использован экспериментальный метод. Исследование гидродинамических характеристик мягких емкостей с твердым наполнителем на моделях выполнено в гидравлическом лотке лаборатории водного транспорта кафедры ПТС МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана на буксировочной системе гравитационного типа.

На основании проведенных предварительных экспериментов, анализа работ различных авторов (В.М. Штумпфа, В.С. Шпакова, А.Н. Комякова, И.Л. Шевелева) [2, 5] установлен перечень определяющих факторов процесса.

Проанализировав зависимость сопротивления от основных параметров и применив теорию

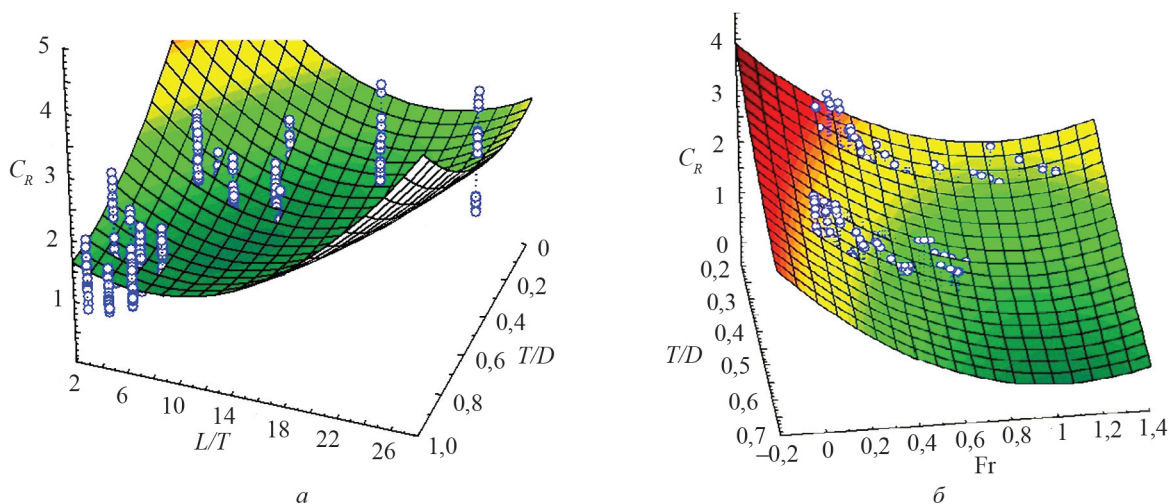


Рис. 1. Зависимость коэффициента остаточного сопротивления  $C_{R_{ост}}$ : а — от параметров  $L/T$  и  $T/D$ ; б — от параметра  $T/D$  и числа Фруда  
 Fig. 1. The dependence of the coefficient of  $C_{R_{ост}}$  residual resistance: а — on the  $L/T$  and  $T/D$  parameters; б — on the  $T/D$  parameter and the Froude number

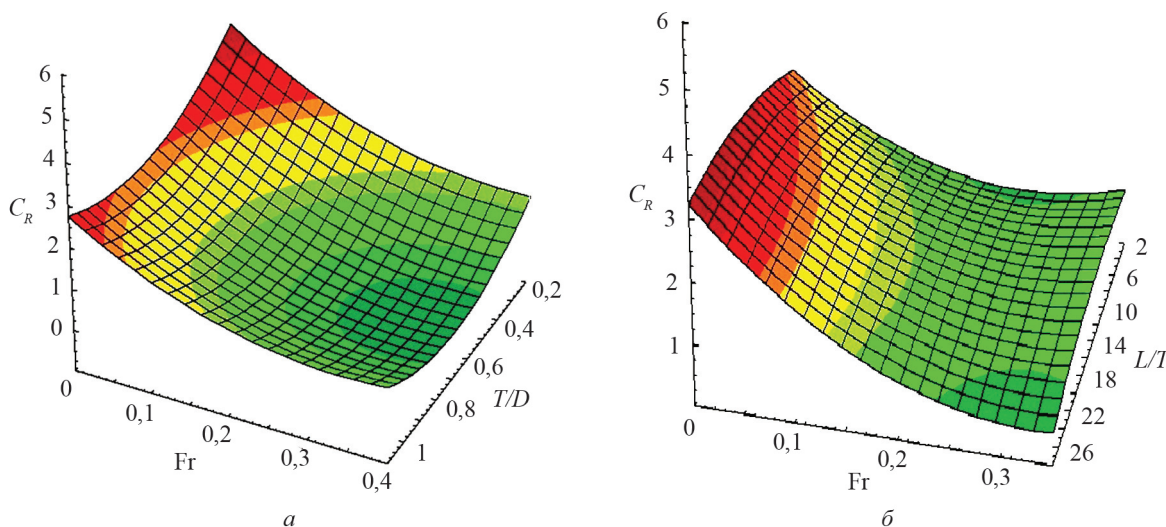


Рис. 2. Зависимость поверхности отклика коэффициента полного сопротивления  $C_R$ : а — от числа Фруда и параметра  $T/D$ ; б — от числа Фруда и параметра  $L/T$   
 Fig. 2. The response surface of the  $C_R$  impedance: а) on the Froude number and the  $T/D$  parameter; б) on the Froude number and the  $L/T$  parameter

размерностей, искомую зависимость в критериальной форме можно представить в следующем виде

$$C_R = \varphi\left(\frac{L}{T}, \frac{T}{D}, \frac{\Delta}{D}, C_a, Re, Fr\right), \quad (1)$$

где  $L$ ,  $T$  и  $D$  — соответственно длина, средняя осадка и диаметр заполненной оболочки;  $\Delta$  — шероховатость материала оболочки;  $C_a$  — число Коши;  $Re$  — число Рейнольдса;  $Fr$  — число Фруда.

Изучение работ по гидродинамике тел похожей формы и предварительные опыты показали,

что к числу определяющих критериев относятся: при продольном перемещении —  $\Delta/T$ ,  $Re$ ,  $Fr$ , а при поперечном — только число Фруда.

При продольном перемещении коэффициент остаточного сопротивления с моделированием по числу Фруда вычисляли по формуле

$$C_{ост} = \frac{R - R_{тр}}{\frac{\rho V^2}{2} \Omega} = \varphi_1\left(\frac{L}{T}, \frac{T}{D}, Fr\right), \quad (2)$$

где  $R_{тр}$  — сопротивление трения модели, находят аналитически по общепринятой методике;

$\Omega$  — площадь миделевого сечения модели.



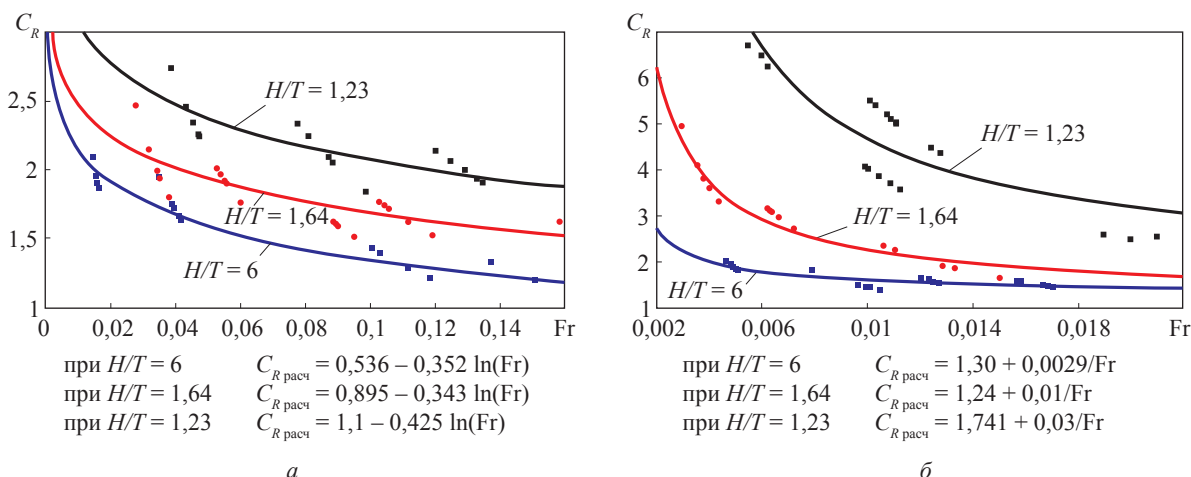


Рис. 3. Зависимость коэффициента полного сопротивления  $C_R$  от числа Фруда при разных значениях  $H/T$ : а — при продольном перемещении; б — при поперечном перемещении

Fig. 3. The dependence of the coefficient of  $C_R$  total resistance on the Froude number for different values of  $H/T$ : а) for longitudinal displacement; б) for transverse movement

При поперечном перемещении мобильного ГТС решение задачи имеет вид

$$C_R = \frac{R}{\frac{\rho V^2}{2} \Omega} = \Phi_2 \left( \frac{L}{T}, \frac{T}{D}, Fr \right). \quad (3)$$

Коэффициент остаточного сопротивления воды продольному перемещению моделей ГТС в потоке определяли экспериментально с помощью моделирования по числу Фруда. Для каждого опыта по формуле (2) находили коэффициент остаточного сопротивления  $C_{\text{ост}}$ . В результате обработки экспериментов получено следующее уравнение регрессии:

$$C_{R \text{ ост}} = 1,987 - 1,343Fr - 0,174L/T + 0,0146/Fr + 0,0051(L/T)^2 - 1,783(L/T)^{-1} + 0,523(T/D)^{-1}. \quad (4)$$

На рис. 1 показаны зависимости поверхности отклика  $C_{R \text{ ост}}$  от параметров  $L/T$  и  $T/D$  и числа Фруда.

По результатам опытов установлено, что коэффициент остаточного сопротивления уменьшается с увеличением скорости движения и числа Фруда.

Для каждого опыта при определении полного сопротивления поперечному перемещению емкости по формуле (3) вычисляли коэффициент полного сопротивления  $C_R$ . В результате получено следующее уравнение регрессии

$$C_R = 16,64 - 7,45Fr + 0,031L/T + 8,19Fr^2 + 0,0049/Fr - 27,38T/D + 14,78(T/D)^2 - 2,31(T/D)^{-1}. \quad (5)$$

Анализ бета-коэффициентов итоговых значений регрессии позволил установить, что наибольшее влияние на коэффициент сопротив-

ления оказывают число Фруда и параметр  $T/D$ , отражающий степень погружения ГТС в воду.

Особенность проведения лесосплавных работ — в том, что на протяжении значительных участков водного пути лесотранспортные единицы (плоты, сплотовые единицы, плавучие контейнеры) движутся в условиях малых глубин. Исследования в области гидродинамики сортиментных плотов [13–15] и контейнерных составов [16, 17] выявили существенное влияние ограниченных габаритов сплавного хода, особенно мелководья.

Для изучения влияния мелководья при продольном перемещении одиночных мягких цилиндрических емкостей была проведена серия опытов с диапазонами изменения числа Фруда  $Fr = 0,011 \dots 0,167$  и относительной глубины потока  $H/T = 1,23 \dots 6,0$ .

На начальном этапе определен характер зависимости коэффициента сопротивления от числа Фруда при перемещении на разных глубинах. Характер зависимости  $C_R$  от числа Фруда один и тот же при изменении относительной глубины  $H/T$  от своего минимального значения (минимально возможный донный запас) до максимального  $H/T = 6,0$  (рис. 3, а), соответствующего условию безграничного по глубине потока.

Значение коэффициента мелководья в каждом опыте определяли по формуле

$$K_M = C_R^M / C_R^{00 \text{ расч}},$$

где  $C_R^M$  — опытное значение коэффициента сопротивления в условиях мелководья;

$C_R^{00 \text{ расч}}$  — расчетное значение коэффициента сопротивления в условиях безграничного потока при числе Фруда, которое наблюдалось в опыте на мелководье.

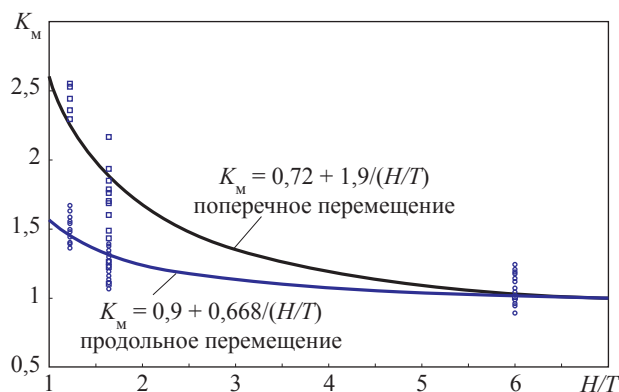


Рис. 4. Зависимости коэффициента мелководья  $K_M$  от параметра  $H/T$  при продольном и поперечном перемещении емкости

Fig. 4. Dependences of the shallow water coefficient  $K_M$  on the parameter  $H/T$  for longitudinal and transverse displacement of the container

Анализ результатов экспериментов позволил упростить модель и получить зависимость коэффициента мелководья от параметра  $H/T$  при продольном перемещении в потоке

$$K_M = 0,902 + \frac{0,669T}{H}.$$

Для изучения влияния мелководья на сопротивление воды поперечному перемещению емкости была проведена серия опытов с варьированием параметра  $H/T$  в пределах 6,0...1, 23; а числа Фруда — 0,0035...0,017.

Для получения коэффициента мелководья при поперечном перемещении были также получены зависимости коэффициента сопротивления от числа Фруда для условий безграничного потока и мелководья (рис. 3, б).

Коэффициент  $K_M$  вычисляли как отношение коэффициентов полного сопротивления на мелководье и в безграничном потоке при одних и тех же числах Фруда. Зависимость для определения коэффициента влияния мелководья от относительной глубины потока при поперечном перемещении имеет вид

$$K_M = 0,72 + \frac{1,9T}{H}.)$$

Совмещенные графики зависимости коэффициента мелководья  $K_M$  от параметра  $H/T$  при продольном и поперечном перемещении мягкой цилиндрической емкости показаны на рис. 4. Наиболее резкий рост сопротивления наблюдается при уменьшении относительной глубины  $H/T$  с 3 до 1,0. При минимально безвредных в плане обеспечения донного запаса значениях  $H/T$  сопротивление возрастает примерно в 1,5 раза при продольном и почти в 3 раза — при поперечном

перемещении в потоке по сравнению с движением в безграничном потоке.

Для практических расчетов сопротивление воды в условиях ограниченной глубины потока можно определить по формуле

$$R = K_M C_R^{00} \frac{\rho \cdot V^2}{2} \Omega,$$

где  $C_R^{00}$  — коэффициент полного сопротивления воды перемещению емкости в условиях безграничного потока.

Значения этого коэффициента для случаев продольного и поперечного перемещения в потоке рассчитывают по полученным уравнениям регрессии (4) и (5).

### Выводы

1. В результате проведенных исследований установлены определяющие факторы процесса взаимодействия мягкой цилиндрической емкости с водным потоком.

2. Разработаны математические модели для определения сопротивления воды ее продольному и поперечному перемещению мягких плавучих емкостей в зависимости от их геометрических параметров и скоростного режима в условиях безграничного потока и мелководья.

### Список литературы

- [1] Комяков А.Н. Опыт и перспективы применения эластичных плавучих контейнеров на лесосплаве // Научные труды московского лесотехнического института. М.: МЛТИ., 1985. Вып. 172. С. 52–55.
- [2] Карпачев С.П., Комяков А.Н. Сплав щепы по воде в мягких плавучих контейнерах: обзорная информация. М.: ВНИПИЭИлеспром, 1986. 36 с.
- [3] Комяков А.Н., Шевелев И.Л., Лозовецкий В.В., Лукьянов А.А. Новая технология доставки измельченных древесных материалов в мягких большегрузных плавучих контейнерах // Транспорт: наука, техника, управление: сб. обзорной информации. М.: ВИНТИ, 2000. № 10. С. 39–41.
- [4] Комяков А.Н., Сорокин М.А., Шевелев И.Л. О применении мягких контейнеров для перевозки и хранения лесных грузов // Промышленный транспорт. XXI век. Промтранспроект, 2012. № 2. С. 27–29.
- [5] Комяков А.Н. Оптимизация процесса доставки лесных грузов в плавучих контейнерах и на однорейсовых судах // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2011. № 5. С. 62–65.
- [6] Комяков А.Н. Экспериментальные исследования сопротивления воды движению контейнерных плотов для сплава измельченной древесины // Научные труды московского лесотехнического института. М.: МЛТИ, 1986. Вып. 177. С. 77–86.
- [7] Комяков А.Н., Сорокин М.А. Гидродинамические характеристики плавучих контейнеров и контейнерных составов для доставки измельченных лесных грузов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2010. № 4. С. 102–104.
- [8] Карпачев С.П., Шмырев Д.В. Исследования гидродинамических характеристик транспортных единиц из мягких контейнеров со щепой // Актуальные направ-

- ления научных исследований XXI века: теория и практика: сб. науч. тр. по материалам Междунар. заочной науч.-практ. конф. Воронеж: ВГЛТА, 2014. № 5. Ч. 4. С. 123–129.
- [9] Карпачев С.П., Шмырев Д.В., Щербаков Е.Н. Плаучность транспортных единиц из мягких контейнеров со щепой // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2015. № 1 (19). С. 102–107.
- [10] Гидротехническое сооружение. Пат. 86601 Российская Федерация, МПК Е 02 В 7/00 / А.Н. Комяков, М.А. Сорокин, С.П. Карпачев, И.Л. Шевелев. № 2009120448/22 заявл. 01.06.2009 опубл. 10.09.2009; бюл. № 28. 2 с.
- [11] Гидротехническое сооружение. Пат. 62615 Российская Федерация, МПК Е 02 В 7/00 / А.Н. Комяков, А.Г. Евсеев, И.Л. Шевелев. № 2006113210/22; заявл. 20.04.2006; опубл. 27.04.2007; бюл. № 12. 2 с.
- [12] Сорокин М.А., Комяков А.Н. Устойчивость на сдвиг мягких гидротехнических сооружений наполняемого типа // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2013. № 1. С. 150–152.
- [13] Мануковский А.Ю., Макаров Д.А., Завершинская О.В., Степанищева М.В. Сущность явлений, возникающих при движении плота на мелководье, и причины посадки плотов на мель // Системы. Методы. Технологии, 2015. № 3 (27). С. 102–107.
- [14] Мануковский А.Ю., Макаров Д.А., Подойницын К.С. Методы снижения гидродинамического сопротивления движению сортиментных плотов при их буксировке // Системы. Методы. Технологии, 2011. № 12. С. 125–127.
- [15] Мануковский А.Ю., Подойницын К.С., Завершинская О.В. Исследование гидродинамического сопротивления движению сортиментных плотов // Лесотехнический журнал, 2011. № 3. С. 83–87.
- [16] Комяков А.Н. Влияние ограниченной глубины и ширины сплавного хода на сопротивление воды движению контейнерного плота // Научные труды московского лесотехнического института. М.: МЛТИ, 1988. С. 79–82.
- [17] Сорокин М.А., Комяков А.Н. Транспортные качества мобильных гидротехнических сооружений наполняемого типа в условиях безграничного потока и мелководья // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2011. № 3. С. 81–84.

## Сведения об авторах

**Комяков Алексей Николаевич** — канд. техн. наук, доцент, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: komyakov@mgul.ac.ru

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

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

**Сорокин Михаил Александрович** — старший преподаватель, МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: sorokin@mgul.ac.ru

Статья поступила в редакцию 06.03.2017 г.

## THE RESISTANCE OF WATER MOVEMENT TO SOFT CYLINDRICAL CONTAINERS WITH SOLID FILLER

**A.N. Komyakov, V.I. Zaprudnov, S.P. Karpachev, M.A. Sorokin**

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

komyakov@mgul.ac.ru

The results of investigation of the hydrodynamic characteristics of a single soft floating cylindrical container with a solid filler (ingredient) are given in the article. There have been found some determinants and reasonable conditions of physical modeling the interaction of a tank with a water flow. The mathematical models to determine the resistance of the water to the longitudinal and transverse displacement of the soft floating vessels, depending on their geometry and speed mode, in an unbounded stream and shallow water.

**Keywords:** soft floating containers, mobile hydraulic structures, dams, transportation, resistance to movement

**Suggested citation:** Komyakov A.N., Zaprudnov V.I., Karpachev S.P., Sorokin M.A. *O soprotivlenii vody dvizheniyu myagkikh tsilindricheskikh emkostey s tverdym napolnitelem* [The resistance of water movement to soft cylindrical containers with solid filler]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 95–100. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-95-100

## References

- [1] Komyakov A.N. *Opyt i perspektivy primeneniya elastichnykh plavuchikh konteynerov na lesosplave* [Experience and perspectives of elastic floating Katy 'Meeting on Rafting'] Scientific works MLTI, 1985, v. 172, pp. 52–55. (in Russian)
- [2] Karpachev S.P., Komyakov A.N. *Splav shchepy po vode v myagkikh plavuchikh konteynerakh* [Fusion chips on the water in soft floating containers] Overview. Moscow: VNIPIEllesprom Publ., 1986, 36 p. (in Russian)

- [3] Komyakov A.N., Shevelev I.L., Lozovetskiy V.V., Luk'yanov A.A. *Novaya tekhnologiya dostavki izmel'chennykh drevesnykh materia-lov v myagkikh bol'shegruznykh plavuchikh konteynerakh* [The new delivery technology chopped wood Mother fishing with soft heavy floating container] Transport: Nauka, tekhnika, upravlenie. Sbornik obzornoy informatsii [Transportation: Science, technology, management. Collection overview]. Moscow: VINITI Publ., 2000, no. 10, pp. 39-41. (in Russian)
- [4] Komyakov A.N., Sorokin M.A., Shevelev I.L. *O primeneniі myagkikh konteynerov dlya perevozki i khraneniya lesnykh gruzov* [On the application of flexible containers for the transport and storage timber] Promyshlennyy transport. XXI vek [Industrial Vehicles. XXI Century]. Moscow: Promtransniiproekt Publ., 2012, no. 2, pp. 27-29. (in Russian)
- [5] Komyakov A.N. *Optimizatsiya protsessa dostavki lesnykh gruzov v plavuchikh konteynerakh i na odnoreysovykh sudakh* [Optimization of the process of delivery of timber floating in the con-tainer and odnoreysovykh courts] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011, no. 5, pp. 62-65. (in Russian)
- [6] Komyakov A.N. *Eksperimental'nye issledovaniya soprotivleniya vody dvizhe-niyu konteynernykh plotov dlya splava izmel'chennoy drevesiny* [Experimental studies of the motion of water-resistance NIJ container rafts for rafting chopped wood] Scientific works MLTI, v. 177, 1986, pp. 77-86. (in Russian)
- [7] Komyakov A.N., Sorokin M.A. *Gidrodinamicheskie kharakteristiki plavuchikh konteynerov i konteynernykh sostavov dlya dostavki izmel'chennykh lesnykh gruzov* [Hydrodynamic characteristics of floating containers and container structures for delivery of crushed timber] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2010, no. 4, pp. 102-104. (in Russian)
- [8] Karpachev S.P., Shmyrev D.V. *Issledovaniya gidrodinamicheskikh kharakteristik transportnykh edinits iz myagkikh konteynerov so shchepoy* [Research hydrodynamic characteristics of the transport units of the flexible containers with chips] Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy xxi veka: teoriya i praktika. Sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Current research areas of the xxi century: theory and practice / Collection of scientific works based on international correspondence scientific-practical conference] VGLTA, 2014, no. 5, t. 4. pp. 123-129. (in Russian)
- [9] Karpachev S.P., Shmyrev D.V., Shcherbakov E.N. *Plavuchest' transportnykh edinits iz myagkikh konteynerov so shchepoy* [Buoyancy transport units of flexible containers with chips] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2015, no. 1(19), pp. 102-107. (in Russian)
- [10] Komyakov A.N., Sorokin M.A., Karpachev S.P., Shevelev I.L. *Gidrotekhnicheskoe sooruzhenie* [The hydraulic structures] Patent RF, no. 86601: MPK E02V 7/00 / 2009120448/22. (in Russian)
- [11] Komyakov A.N., Evseev A.G. *Gidrotekhnicheskoe sooruzhenie* [The hydraulic structures] Patent RF, no. 62615: MPK E02V 7/00. 2006113210/22. (in Russian)
- [12] Sorokin M.A., Komyakov A.N. *Ustoychivost' na sdvig myagkikh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy napolnyaemogo tipa* [Resistance to soft shift hydraulic structures such as fills] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2013, no. 1, pp. 150-152. (in Russian)
- [13] Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A., Zavershinskaya O.V., Stepanishcheva M.V. *Sushchnost' yavleniy, voznikayushchikh pri dvizhenii plota na melkovod'e, i prichiny posadki plotov na mel'* [The essence of the phenomena that occur when moving the raft in shallow water, and causes rafts stranding] Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2015, no. 3(27), pp. 102-107. (in Russian)
- [14] Manukovskiy A.Yu., Makarov D.A., Podoynitsyn K.S. *Metody snizheniya gidrodinamicheskogo soprotivleniya dvizheniyu sortimentnykh plotov pri ikh buksirovke* [Methods to reduce the hydrodynamic resistance movement assortment rafts when towing] Sistemy. Metody. Tekhnologii [Systems. Methods. Technologies], 2011, no. 12, pp. 125-127. (in Russian)
- [15] Manukovskiy A.Yu., Podoynitsyn K.S., Zavershinskaya O.V. *Issledovanie gidrodinamicheskogo soprotivleniya dvizhe-niyu sortimentnykh plotov* [Investigation of hydrodynamic resistance movement assortment rafts] Lesotekhnicheskii zhurnal [Forestry Journal], 2011, no. 3, pp. 83-87. (in Russian)
- [16] Komyakov A.N. *Vliyanie ogranichennykh glubiny i shiriny splavnogo khoda na soprotivlenie vody dvizheniyu konteynernogo plota* [Effect of limited depth and width rafting course on the water resistance of the movement of the container raft] Nauchnye trudy MLTI, 1988, pp. 79-82. (in Russian)
- [17] Sorokin M.A., Komyakov A.N. *Transportnye kachestva mobil'nykh gidrotekhnicheskikh sooruzheniy napolnyaemogo tipa v usloviyakh bezgranichnogo potoka i melkovod'ya* [Transportnye quality mobile hydraulic built-ny type fills in a limitless flow and shallow water] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2011, no. 3, pp. 81-84. (in Russian)

## Author's information

**Komyakov Aleksey Nikolaevich** — Cand. Sci. (Tech.), Assoc. Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: komyakov@mgul.ac.ru

**Zaprudnov Vyacheslav Il'ich** — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: zaprudnov@mgul.ac.ru

**Karpachev Sergey Petrovich** — Dr. Sci. (Tech.), Prof. BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: karpachev@mgul.ac.ru

**Sorokin Mikhail Aleksandrovich** — Senior Lecturer BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: sorokin@mgul.ac.ru

Received 06.03.2017

## МОДЕЛЬ НЕЧЕТКОЙ ЭТАЛОННОЙ ФОРМЫ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ — САМБИСТОВ СРЕДНЕЙ ВЕСОВОЙ КАТЕГОРИИ

О.М. Полещук, М.К. Умаров

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

Проблема оптимизации подготовки студентов-самбистов является одной из наиболее актуальных тем тренировочного процесса, направленного на достижение значимых спортивных результатов. Учебно-методическая литература по этому вопросу не отвечает требованиям специалистов-практиков. Необходимы программы подготовки единоборцев, составленные с учетом индивидуальных показателей на каждом из этапов их тренировочного процесса и соревновательной деятельности. Для обработки информации, получения устойчивых конечных результатов и адекватных действительности выводов следует применять современные математические методы. Создана модель нечеткой эталонной формы студентов-самбистов в виде совокупности показателей их спортивной подготовки. Эту эталонную форму предлагается использовать для выработки управляющих воздействий, направленных на получение значимых спортивных достижений.

**Ключевые слова:** лингвистическая переменная, нечеткая эталонная форма, подготовка студентов-самбистов

**Ссылка для цитирования:** Полещук О.М., Умаров М.К. Модель нечеткой эталонной формы для подготовки студентов — самбистов средней весовой категории // Лесной вестник / Forestry Bulletin, 2017. Т. 21. № 2. С. 101–106. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-101-106

В настоящее время можно выделить две группы методов, которые используются для обработки информации о тренировочном процессе. К первой группе следует отнести так называемые традиционные методы математической статистики и теории экспертного оценивания [1, 2], к второй — методы на основе теории нечетких множеств и нечеткой логики [3–9]. Поскольку методы разных групп имеют разную теоретико-множественную основу, необходимо рассмотреть их достоинства и недостатки.

Сложность количественного оценивания процессов подготовки единоборцев и управления этой подготовкой является следствием сложности обработки получаемых данных в силу разнородности их состава. Данные могут быть значениями количественных или качественных (нечисловых) показателей. Особенность оценивания качественных показателей состоит в учете свойств или суждений лиц, измеряющих эти показатели и принимающих решения на основании этого субъективного измерения.

Методы обработки информации тренировочного процесса первой группы не позволяют учитывать эту особенность. При применении арифметических операций к нечисловым элементам порядковых шкал может возникать неустойчивость конечных результатов из-за некорректности этих операций. Поэтому представляется проблематичным получение рейтинговых оценок на базе традиционных сверток отдельных показателей. Подобные проблемы возникают

при построении регрессионных моделей с целью прогноза показателей спортсменов. Вместе с тем у методов первой группы есть существенные достоинства: возможность использования статистической информации, наглядность, распространенность.

Методы второй группы не столь многочисленны; интерпретация выходных данных только на первый взгляд может показаться трудоемкой, поскольку окончательные результаты дают лицу, принимающему решения, больше информации и, соответственно, облегчают его задачу. Эти методы свободны от некорректности оперирования с элементами порядковых шкал. Кроме того, они позволяют индивидуализировать процесс оценивания и принятия решений с учетом особенностей личностей эксперта и спортсмена.

Интеграция возможностей методов первой и второй групп позволяет разработать новые методы, сочетающие в себе достоинства и тех и других.

Остановимся на некоторых необходимых понятиях теории нечетких множеств.

Нечетким множеством  $\tilde{A}$  называется множество пар вида [3]  $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$ , где  $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ . Нечетким числом  $\tilde{A}$  называется нечеткое множество, имеющее функцию принадлежности [3]  $\mu_{\tilde{A}}(x) : R \rightarrow [0, 1]$ .

Для формализации значений показателей самбистов разработаны методы, в основу которых положено понятие лингвистической переменной.

Лингвистической переменной называется пятерка [3]

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где  $X$  — название переменной;

$T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$  — терм-множество переменной  $X$ , то есть множество термов, или названий лингвистических значений, переменной  $X$  (каждое из этих значений — нечеткая переменная со значениями из универсального множества  $U$ );

$V$  — синтаксическое правило, порождающее названия значений лингвистической переменной  $X$ ;

$S$  — семантическое правило, которое ставит в соответствие каждой нечеткой переменной с названием из  $T(X)$  нечеткое подмножество универсального множества  $U$ .

### Модель нечеткой эталонной формы студентов-самбистов

Построим модель нечеткой эталонной формы студентов-самбистов (в виде совокупности формализованных показателей) и модель рейтингового оценивания на ее основе.

Построению предшествует выявление показателей (на различных этапах тренировочного процесса), оказывающих существенное влияние на значимость спортивных достижений в самбо. Для этой цели разработана модель [10], которая основана на выборе вероятностной или возможностной функции поведения системы показателей в зависимости от порожденной этими функциями нечеткости. Построенная модель показала, что на значимость спортивных достижений в самбо существенно влияют скоростные способности студентов, их вестибулярная устойчивость, выносливость и координационные способности.

Рассмотрим  $N$  студентов-самбистов, у которых на начальном этапе тренировочного процесса оцениваются показатели  $X_j, j = \overline{1, m}$ , оказывающие существенное влияние на успешность  $Y$  их спортивных достижений. Будем считать, что  $Y$  принимает три лингвистических значения:  $Y_1$  — «Отсутствие призовых мест на чемпионате Московской области по самбо среди студентов»,  $Y_2$  — «Призовые места на чемпионате Московской области по самбо среди студентов»,  $Y_3$  — «Первые места на чемпионате Московской области по самбо среди студентов». Поскольку показатели  $X_j, j = \overline{1, m}$  могут быть количественными (числовыми) или качественными (нечисловыми), то для нечисловых характеристик  $X_j, j = \overline{1, p}$  и  $Y$  построим

лингвистические переменные [7] с названиями  $X_j, j = \overline{1, p}$ ,  $Y$  и терм-множествами  $X_l, l = \overline{1, p_j}, j = \overline{1, p}, Y_s, s = \overline{1, 3}$ . Функции принадлежности термов (значений) лингвистических переменных задаются с помощью четырех параметров. Первые два параметра — абсциссы левого и правого концов верхнего основания трапеции, которая является графиком функции принадлежности. Третий и четвертый параметры — длины соответственно левого и правого крыльев трапеции. Если графиком функции принадлежности является треугольник, функция задается с помощью трех параметров.

Среди  $N$  спортсменов выделяем чемпионов Московской области по самбо среди студентов. Например, это спортсмены с номерами  $i = \overline{1, M}$ , которые имели на начальном этапе тренировочного процесса качественные показатели  $X_j, j = \overline{1, p}$ , формализованные с помощью функций принадлежности  $\{\mu_j^i(x) \equiv (a_{j1}^i, a_{j2}^i, a_{jL}^i, a_{jR}^i)\}, i = \overline{1, M}, j = \overline{1, p}$ , и нормированные максимальным значением количественные показатели  $x_j, j = \overline{p+1, m}$ . Этим спортсменам соответствует значение  $Y_3$  успешности их спортивных достижений — «Первые места на чемпионате Московской области по самбо среди студентов» с функцией принадлежности  $\mu_3(x) \equiv (y_{31}, y_{32}, y_{3L}, y_{3R})$ .

Построим нечеткую регрессионную модель, разработанную в [10, 11]

$$\tilde{Y} = \tilde{a}_1 \tilde{X}_1 + \tilde{a}_2 \tilde{X}_2 + \dots + \tilde{a}_p \tilde{X}_p + \tilde{a}_{p+1} X_{p+1} + \dots + \tilde{a}_m X_m + \tilde{a}_0,$$

где  $\tilde{X}_j, j = \overline{1, p}$  — формализованные с помощью функций принадлежности качественные показатели спортсменов,  $X_j, j = \overline{p+1, m}$  — нормированные максимальным значением количественные показатели спортсменов;

$\tilde{a}_j, j = \overline{0, m}$  — неизвестные коэффициенты регрессии, которые являются треугольными нечеткими числами и определяются функциями принадлежности с тремя параметрами.

Эта модель, которая позволяет прогнозировать показатели спортсменов, используется для построения их нечеткой эталонной формы. Совокупность эталонных показателей спортсменов определяется в виде совокупности нечетких чисел  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}, j = \overline{1, m}$ . Для нахождения этих чисел нам понадобится понятие взвешенного отрезка, которое определено в [12]. Взвешенные отрезки нечетких чисел агрегируют информацию об этих числах и позволяют существенно упростить операции с нечеткими числами.

Согласно [12], взвешенный отрезок  $[A_1, A_2]$  для числа с функцией принадлежности  $\mu(x) \equiv (a_1, a_2, a_L, a_R)$  определяется следующим образом

$$A_1 = a_1 - \frac{1}{6}a_L, \quad A_2 = a_2 + \frac{1}{6}a_R$$

и является агрегирующим отрезком для соответствующего нечеткого числа.

Обозначим соответственно через  $[A_{j1}^i, A_{j2}^i]$ ,  $i = \overline{1, M}, j = \overline{1, m}$ ,  $[B_{j1}, B_{j2}]$ ,  $j = \overline{1, m}$  и  $[C_1, C_2]$  взвешенные отрезки нечетких чисел с функциями принадлежности  $\{\mu_j^i(x) \equiv (a_{j1}^i, a_{j2}^i, a_{jL}^i, a_{jR}^i)\}$ ,  $i = \overline{1, M}, j = \overline{1, m}$ ,  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , и  $\mu_3(x) \equiv (y_{31}, y_{32}, y_{3L}, y_{3R})$ , а через  $[D_1, D_2]$  — взвешенный отрезок нечеткого числа, которое получается подстановкой нечетких чисел с функциями принадлежности  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}$ ,  $j = \overline{1, m}$  в регрессионную модель, описанную выше.

Обозначим  $(C_1 - D_1)^2 + (C_2 - D_2)^2$  через  $\rho_1^2$ , а

$$\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^m [(A_{j1}^i - B_{j1})^2 + (A_{j2}^i - B_{j2})^2]$$

через  $\rho_2^2$ . Известные параметры функций принадлежности  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , совокупности формализованных характеристик идем из решения оптимизационной задачи  $\rho_1^2 + \rho_2^2 \rightarrow \min$  при условиях

$$x_{j1} - x_{jL} \geq 0, \quad x_{j2} + x_{jR} \leq 1, \quad x_{jL} \geq 0, \quad x_{jR} \geq 0, \quad j = \overline{1, m}.$$

Для качественных (нечисловых) показателей идентифицируем полученные нечеткие числа (с функциями принадлежности  $\{\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})\}$ ,  $j = \overline{1, p}$ ) с формализациями лингвистических значений  $X_{lj}$ ,  $l = \overline{1, p_j}, j = \overline{1, p}$  ( $\tilde{X}_{lj}$  с функциями принадлежности  $\mu_{lj}(x)$ ,  $l = \overline{1, p_j}, j = \overline{1, p}$ ). Обозначим взвешенные отрезки нечетких чисел  $\tilde{X}_{lj}$  через  $[Q_{j1}^l, Q_{j2}^l]$ ,  $l = \overline{1, p_j}, j = \overline{1, p}$ .

Пусть

$$f^2(\mu_j(x), \mu_{lj}(x)) = (Q_{j1}^l - B_{j1})^2 + (Q_{j2}^l - B_{j2})^2, \\ l = \overline{1, p_j}, j = \overline{1, p}.$$

Нечеткое число с функцией принадлежности  $\mu_j(x) \equiv (x_{j1}, x_{j2}, x_{jL}, x_{jR})$  идентифицируется с лингвистическим значением  $X_{sj}$  характеристики  $X_j$ , если

$$f^2(\mu_j(x), \mu_{sj}(x)) = \min_l f^2(\mu_j(x), \mu_{lj}(x)), \quad l = \overline{1, p_j}.$$

Для числовых показателей  $X_j$ ,  $j = \overline{p+1, m}$  получаем эталонные значения в виде отрезка

$$\left[ x_{j1} - \frac{1}{6}x_{jL}, x_{j2} + \frac{1}{6}x_{jR} \right].$$

Рейтинговую оценку  $n$ -го студента-спортсмена,  $n = \overline{1, N}$ , определим следующим образом [13]

$$r_n = 1 - \sum_{j=1}^m \omega_j \sqrt{\frac{1}{2}(B_{j1} - A_{j1}^n)^2 + \frac{1}{2}(B_{j2} - A_{j2}^n)^2},$$

где  $[B_{j1}, B_{j2}]$ ,  $j = \overline{1, m}$  взвешенные отрезки нечеткой эталонной формы;

$[A_{j1}^n, A_{j2}^n]$ ,  $n = \overline{1, N}, j = \overline{1, m}$  — взвешенные отрезки показателей  $n$ -го студента-спортсмена.

Разработанная рейтинговая модель позволяет дифференцированно подходить к рейтинговому оцениванию студентов-спортсменов, учитывая их потенциальные возможности и используя их для выработки управляющих воздействий, направленных на получение значимых спортивных достижений.

### Практический пример

В качестве входной информации были рассмотрены данные студентов первого курса на этапе начала тренировок в секции самбо Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана. Были выбраны следующие показатели:  $X_1$  — бег на 60 м (с);  $X_2$  — приседания на одной ноге (количество раз);  $X_3$  — прыжок с места в длину (м);  $X_4$  — забегания на борцовском мосту (количество раз);  $X_5$  — лазание по канату без ног на 5 м (количество раз);  $X_6$  — подтягивание на перекладине (количество раз);  $X_7$  — броски манекена (количество раз за 1 мин). В качестве выходной информации были рассмотрены данные показателя успешности спортсменов  $Y$ , принимающего три значения:  $Y_1$  — «Отсутствие призовых мест на чемпионате Московской области по самбо среди студентов»,  $Y_2$  — «Призовые места на чемпионате Московской области по самбо среди студентов»,  $Y_3$  — «Первые места на чемпионате Московской области по самбо среди студентов». Для построения нечеткой регрессионной модели были рассмотрены данные 100 студентов, которые в разные годы занимались в секции самбо Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана (МГУЛ). Из рассмотренных 100 человек 52 человека (0,52 от общего числа самбистов) не занимали призовых мест на чемпионате, 23 человека (0,23 от общего числа самбистов) занимали призовые места на чемпионате и 25 человек (0,25 от общего числа самбистов) были чемпионами Московской области по самбо среди студентов.

Поскольку вся входная информация является числовой, данные студентов по каждому

показателю были пронормированы максимальным значением. Выходная информация является нечисловой (качественной), поэтому для ее значений были построены соответствующие функции принадлежности [7, 9]. Построение функций принадлежности осуществляется на отрезке [0, 1], областью значений функций тоже является отрезок [0, 1].

В теории вероятностей существует понятие геометрических вероятностей [2]: если точка случайным образом бросается в плоскую фигуру площади S, то вероятность точки попасть в плоскую фигуру площади s равна s/S. Понятие геометрических вероятностей было применено для функций принадлежности, которые были построены таким образом, что площади фигур, ограниченные этими функциями (трапеции и треугольник), равны соответственно 0,52; 0,23; 0,25.

Обозначим через  $\mu_k(x), i = \overline{1,3}$  функции принадлежности термов  $Y_1, Y_2$  и  $Y_3$ . Тогда

$$\begin{aligned} \mu_1(x) &\equiv (0; 0,405; 0; 0,115), \\ \mu_2(x) &\equiv (0,635; 0,115; 0,115), \\ \mu_3(x) &\equiv (0,865; 1; 0,115; 0). \end{aligned}$$

На основании входной и выходной информации была построена нечеткая линейная регрессионная модель

$$\begin{aligned} \tilde{Y} &= (0,026; 0; 0) + (0,067; 0; 0)X_1 + \\ &+ (0,619; 0,585; 0,507)X_2 + \\ &+ (0,234; 0,112; 0)X_3 + (0,019; 0,163; 0,007)X_4 + \\ &+ (0,124; 0,005; 0,007)X_5 + \\ &+ (0,036; 0; 0)X_6 + (0,034; 0,007; 0)X_7. \end{aligned}$$

В условиях разнородной входной и выходной информации построение классической регрессионной модели не представляется возможным.

После построения нечеткой линейной регрессионной модели были отобраны входные данные 25 спортсменов-чемпионов. Поскольку входные данные были только числовые, отрезки  $[A_{j1}^i, A_{j2}^i], i = \overline{1, 25}, j = \overline{1, 7}$  превращаются в точки  $[A_{j1}^i, A_{j2}^i], i = \overline{1, 25}, j = \overline{1, 7}$  на числовой прямой со значениями, равными нормированным показателям спортсменов-чемпионов. Эталонный образ формы спортсменов будем искать в виде  $\{\mu_j(x) \equiv (x_j, x_{jL}, x_{jR})\}, j = \overline{1, 7}$ , его взвешенные отрезки обозначим через  $[B_{j1}, B_{j2}], j = \overline{1, 7}; C_1 = 0,865 - 1/6 \times 0,115 \approx 0,846; C_2 = 1 + 1/6 \cdot 0 = 1; [D_1, D_2]$  — взвешенный отрезок нечеткого числа, которое получается подстановкой нечетких чисел с функциями принадлежности  $\{\mu_j(x) \equiv (x_j, x_{jL}, x_{jR})\}, j = \overline{1, 7}$ , в регрессионную модель, описанную выше.

Обозначим  $(0,846 - D_1)^2 + (1 - D_2)^2$  через  $\rho_1^2$ , а

$$\sum_{i=1}^{25} \sum_{j=1}^7 [(A_j^i - B_{j1})^2 + (A_j^i - B_{j2})^2]$$

через  $\rho_2^2$ . Неизвестные параметры функций принадлежности  $\{\mu_j(x) \equiv (x_j, x_{jL}, x_{jR})\}, j = \overline{1, 7}$ , совокупности формализованных характеристик идем из решения оптимизационной задачи  $\rho_1^2 + \rho_2^2 \rightarrow \min$ .

Решение оптимизационной задачи позволило получить следующие функции принадлежности соответственно для показателей  $X_1 - X_7$  (пояснения обозначений  $X_1 - X_7$  см. выше).

$$\begin{aligned} \mu_1(x) &\equiv (8,2; 0,412; 0; 0,308), \\ \mu_2(x) &\equiv (13,91; 5,28; 7,34), \\ \mu_3(x) &\equiv (2,38; 1,15; 2,46), \\ \mu_4(x) &\equiv (28,19; 12,04; 0; 13,16), \\ \mu_5(x) &\equiv (3,57; 4,18; 6,31), \\ \mu_6(x) &\equiv (19,06; 19,76; 23,84), \\ \mu_7(x) &\equiv (21,09; 17,64; 9,82). \end{aligned}$$

Для перечисленных выше показателей получаем эталонные значения в виде отрезков:

$$\begin{aligned} X_1 &— [8,13; 8,25], X_2 — [13,03; 15,13], \\ X_3 &— [2,18; 2,79], X_4 — [26,18; 30,38], \\ X_5 &— [3,57; 5,32], X_6 — [15,76; 23,03], \\ X_7 &— [18,15; 22,72]. \end{aligned}$$

## Выводы

Разработана модель эталонной формы студентов-самбистов на основе аппарата теории нечетких множеств. Эта модель может применяться на любом этапе тренировочного процесса для выработки управляющих воздействий, направленных на достижение значимых спортивных результатов. Новизна предложенной модели состоит в том, что она позволяет рассматривать разнородные показатели спортсменов, одни из которых могут быть количественными (длина прыжка, число бросков, число подтягиваний и т. д.), а другие — качественными (упорство, лидерство, психологическая устойчивость и т. д.), и при этом корректно оперировать с их значениями. Разработанная модель включает в себя построение нечеткой регрессионной модели, которая дает возможность прогнозировать успешность спортивной карьеры, выявлять показатели, оказывающие на нее существенное влияние, и находить зависимости между ними. Нечеткая эталонная форма студентов-самбистов позволяет определять рейтинговые оценки спортсменов



и использовать их для улучшения реальной спортивной формы. Адекватность и эффективность разработанной модели демонстрируется с помощью практического примера.

## Список литературы

- [1] Ширяев А.Н. Вероятность. М.: Наука, 1980. 576 с.
- [2] Гмурман В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 2005. 479 с.
- [3] Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений. М.: Мир, 1976. 165 с.
- [4] Полещук О.М. Математическая модель обработки экспертных оценок // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2005. № 6 (42). С. 161–164.
- [5] Development of Intelligent for Monitoring and Evaluation of Peaceful Nuclear Activities / A. Ryjov, A. Belenki, R. Hooper, V. Pouchkarev, A. Fattah, L. Zadeh. Vienna: IAEA, 1998, 122 p.
- [6] Полещук О.М., Полещук И.А. Нечеткая кластеризация элементов множества полных ортогональных семантических пространств // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2003. № 1. С. 117–127.
- [7] Полещук О.М. О развитии систем обработки нечеткой информации на базе полных ортогональных семантических пространств // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2003. № 1. С. 112–117.
- [8] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning // Synthese, 1975, v. 80, pp. 407–428.
- [9] Poleshchuk O. The determination of students' fuzzy rating points and qualification levels // International Journal of Industrial and Systems Engineering, 2011, v. 9, no. 1, pp. 3–20.
- [10] Полещук О.М. Линейная нечеткая регрессионная модель при условии четких входных и выходных данных // Вестник МГУЛ – Лесной вестник, 2000. № 4. С. 138–143.
- [11] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. Multiple hybrid regression for fuzzy observed data // Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2008. New York City, 2008, pp. 4531224.
- [12] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. New defuzzification method based on weighted intervals // Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS'2008. New York City, 2008, pp. 4531223.
- [13] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. The determination of rating points of objects and groups of objects with qualitative characteristics // Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS-2009. New York City, 2009, pp. 5156416.

## Сведения об авторах

**Полещук Ольга Митрофановна** — д-р техн. наук, профессор МГТУ им. Н.Э. Баумана, e-mail: poleshchuk@mgul.ac.ru

**Умаров Мухамед Курешевич** — доцент кафедры физической культуры и спорта МГТУ им. Н.Э. Баумана (Мытищинский филиал), e-mail: murad-u@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.01.2017 г.

## FUZZY MODEL OF STANDARD FORM FOR STUDENTS — WRESTLERS OF MIDDLE WEIGHT CATEGORIES

**O.M. Poleshchuk, M.K. Umarov**

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

poleshchuk@mgul.ac.ru

The analysis of practical results of training some students — wrestlers, together with theoretical studies, showed that the problem of optimizing their training techniques is one of the most significant issues of the training process aimed at achieving remarkable sports results. The educational and methodological literature on technical and tactical training the athletes does not meet the requirements of practitioners. Consequently, it is necessary to develop some programs of training the athletes which will be tailored to the individual indicators at each stage of their training process and competitive activity. To process the data obtained, to provide sustainable outcomes and adequate results it is necessary to use the new mathematical methods. Taking the above purposes into consideration, the authors have developed an approach to create a fuzzy standard form for students — wrestlers in the form of a set of indicators of their sports training. This standard form is suggested being used to develop certain control actions, aimed at obtaining significant sports achievements.

**Keywords:** linguistic variable, fuzzy standard form, training some students — wrestlers

**Suggested citation:** Poltshchuk O.M., Umarov M.K. *Model' nechetkoy etalonnoy formy dlya podgotovki studentov-sambistov sredney vesovoy kategorii* [Fuzzy model of standard form for students — wrestlers of middle weight categories]. *Lesnoy vestnik / Forestry Bulletin*, 2017, vol. 21, no. 2, pp. 101–106. DOI: 10.18698/2542-1468-2017-2-101-106

## References

- [1] Shiryayev A.N. *Veroyatnost'* [Probability]. Moscow: Nauka Publ., 1980, 576 p. (in Russian)
- [2] Gmurman V.E. *Teoriya veroyatnostey i matematicheskaya statistika* [Theory of Probability and Mathematical Statistics]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2005, 479 p. (in Russian)
- [3] Zade L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinyatiyu priblizitel'nykh resheniy* [The concept of linguistic variable and its application to decision making]. Moscow: Mir Publ., 1976, 165 p. (in Russian)
- [4] Poleshchuk O.M. *Matematicheskaya model' obrabotki ekspertnykh otsenok* [A mathematical model for the processing of expert evaluations] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2005, № 6 (42), pp. 161-164. (in Russian)
- [5] Ryjov A., Belenki A., Hooper R., Pouchkarev V., Fattah A., Zadeh L. Development of Intelligence for Monitoring and Evaluation of Peaceful Nuclear Activities, IAEA, 1998, pp. 122.
- [6] Poleshchuk O.M., Poleshchuk I.A. *Nechetkaya klasterizatsiya elementov mnozhestva polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv* [Fuzzy Clustering of elements of complete orthogonal semantic spaces] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2003, № 1, pp. 117-127. (in Russian)
- [7] Poleshchuk O.M. *O razvitiy sistem obrabotki nechetkoy informatsii na baze polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv* [On the development of fuzzy information processing systems based on the full orthogonal semantic spaces] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2003, № 1, pp. 112-117. (in Russian)
- [8] Zadeh L.A. Fuzzy logic and approximate reasoning. *Synthese*, 1975, v. 80, pp. 407-428.
- [9] Poleshchuk O. The determination of students' fuzzy rating points and qualification levels. *International Journal of Industrial and Systems Engineering*, 2011, v. 9, no. 1, pp. 3-20.
- [10] Poleshchuk O.M. *Lineynaya nechetkaya regressionnaya model' pri uslovii chetkikh vkhodnykh i vykhodnykh dannykh* [Fuzzy linear regression model with a crisp input and output data] Moscow state forest university bulletin – Lesnoy vestnik, 2000, no. 4, pp. 138-143. (in Russian)
- [11] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. Multiple hybrid regression for fuzzy observed data. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS-2008, New York City, NY, p. 4531224.
- [12] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. New defuzzification method based on weighted intervals. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS-2008, New York City, NY, p. 4531223.
- [13] Poleshchuk O.M., Komarov E.G. The determination of rating points of objects and groups of objects with qualitative characteristics. Annual Conference of the North American Fuzzy Information Processing Society – NAFIPS-2009, p. 5156416.

## Author's information

**Poleshchuk Ol'ga Mitrofanovna** — Dr. Sci. (Tech.), Prof., BMSTU, e-mail: poleshchuk@mgul.ac.ru  
**Umarov Mukhamed Kureshevich** — associate Professor of physical education, BMSTU (Mytishchi branch), e-mail: murad-u@mail.ru

Received 26.01.2017