

СОДЕРЖАНИЕ

Лесное хозяйство

Чернобровкина Н.П., Чернышенко О.В., Егорова А.В., Зайцева М.И., Робонен Е.В. Современные технологии выращивания посадочного материала хвойных пород и пути их совершенствования	6
Колесникова А.А., Хайбрахманова Т.Ф. Динамика влажности древесины кernов из деревьев пихты по категориям санитарного состояния	15
Дебков Н.М., Залесов С.В., Оплетаев А.С. Орехово-промысловые зоны и их современное состояние (на примере Томской области)	22
Мустафин Р.Ф., Арсланов А.А. Эффективность древесно-кустарниковой растительности на склонах	32
Феклистов П.А., Тюрикова Т.В., Аверина М.В. Роль типов леса в смене пород на старопахотных землях Кенозерского национального парка	39
Федотов Г.Н., Федотова М.Ф., Шалаев В.С., Батырев Ю.П., Шматова А.Г. Природа колебательных процессов при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой	44
Пинягина Н.Б., Савицкий А.А., Горшенина Н.С. Стратегические приоритеты развития лесного комплекса России	53

Деревообработка и химические технологии

Чемоданов А.Н., Гайнуллин Ренат Х., Гайнуллин Ришат Х. Результаты исследования процесса смешанного резания древесины на шпон	67
Агеев С.П., Мелехов В.И., Рыкунин С.Н. Статистическая модель входящего потока пиловочных сортиментов на участок окорки	73
Анисимов П.Н., Онучин Е.М. Экспериментальное исследование естественной сушки топливной древесины в пачках на лесосеке	79
Ермакова А.Ю. Построение прогнозных моделей динамики изменения цен на древесину и пиломатериалы	88
Кононов Г.Н., Вережкин А.Н., Сердюкова Ю.В. Физико-химические изменения анатомической структуры микологически разрушенной древесины	97
Любавина И.В., Зарубина А.Н., Иванкин А.Н., Сердюкова Ю.В., Прошина О.П. Лаковые композиции в производстве металлизированной бумаги	102
Шаталов К.В., Горюнова А.К., Лихтерова Н.М., Иванкин А.Н., Бабурин М.И., Куликовский А.В. Применение продуктов сульфатцеллюлозного производства в качестве присадок к топливам реактивных двигателей	107

Лесоинженерное дело

Будалин С.В., Никулин С.В. *Эффективная эксплуатация лесовозных автопоездов на основе разрешенной максимальной грузоподъемности* 116

Посыпанов С.В. *Метод экспериментального определения коэффициента фиктивного увеличения массы лесотранспортных единиц при их неравномерном движении в воде* 122

Математическое моделирование

Галактионов А.Ю. *Численное решение одной системы интегро-дифференциальных уравнений как сопряженной задачи* 131

Давыдов В.Ф., Соболев А.В., Усачев М.С.
Тематическая обработка ультрафиолетовых изображений 141

Полещук О.М. *Определение степени аналогичности технических изделий на основе теории нечетких множеств* 146

Шипов Н.В., Полещук О.М., Рубинштейн А.И. *О двухволновом приближении дифракции света в холестерических жидких кристаллах с большим шагом спирали* 150

Образование

Косарина А.А., Федотова А.Е.
Стратегии перевода при переводе авторских терминов гуманитарных наук 154

Косарина А.А., Федотова А.Е.
Система права в Англии и Америке: сравнительный анализ 161

CONTENTS

Forestry

Chernobrovkina N.P., Tshernychenko O.V., Egorova A.V., Zaitseva M.I., Robonen E.V. Modern technologies growing planting material of coniferous species and ways to improve them	6
Kolesnikova A.A., Khaibrakhmanova T.F. Dynamics of moisture of wood fromabies kern bysanitary state categories	15
Debkov N.M., Zalesov S.V., Opletaev A.S. Nut-business zones and their up-to-date state (on the example of the Tomsk region)	22
Mustafin R.F., Arslanov A.A. Efficiency of the wood and shrubby vegetation on slopes	32
Feklistov P.A., Turikova T.V., Averina M.V. The role of forest types in the change of species to cultivated lands of Kenozero national park	39
Fedotov G.N., Fedotova M.F., Shalaev V.S., Batyrev Y.P., Shmatova A.G. The nature of oscillatory processes in the interaction of air-dry soil with water	44
Pinyagina N.B., Savitskiy A.A., Gorshenina N.S. Strategic priorities of forest complex of Russia	53

Wood processing and chemical technology

Chemodanov A.N., Gainullin Ren.Kh., Gainullin Rish.Kh. The results of the mixed wood cutting process research in veneer-sawing industry	67
Ageev S.P., Melekhov V.I., Rykunin S.N. Statistical model of the incoming stream sawn assortments at plot debarking	73
Anisimov P.N., Onuchin E.M. Field research of natural drying of fuelwood in bunch on the cutting area	79
Ermakova A.Y. Construction predictive models of the dynamics of changes the price of timber and lumber	88
Kononov G.N., Verevkin A.N., Serdyukova Yu.V. Physical and chemical changes of the anatomical structure mycologic destructed wood	97
Lyubavina I.V., Zarubina A.N., Ivankin A.N., Serdyukova Y.V., Proshina O.P. Lacguer compositions in the manufacture of metallized paper	102
Shatalov K.V., Gorunova A.K., Likhterova N.M., Ivankin A.N., Baburina M.I., Kulikovskii A.V. The possibility of the use of polyunsaturated fatty acids in tall oil as anti-wear additives to fuels for jet engines	107

Forest engineering

Budalin S.V., Nikulin S.V. *Measurement of the mass of logs loaded on logging vehicles* 116

Posypanov S.V. *Experimental determination of the imaginary coefficient of a mass increment of a timber rafting unit during non-stationary motion in water* 122

Math modeling

Galalaktionov A.U. *Numerical solution the intgro-differential system as connected task* 131

Davydov V.F., Sobolev A.V., Usachev M.S. *Thematic processing of ultra-violet images* 141

Poleshchuk O.M.

Determination of the analogy degree of technical products on the basis of fuzzy sets 146

Shipov N.V., Poleshchuk O.M., Rubinshteyn A.I. *Two-vawe approxiimation of light diffraction in cholesteric liquid crystal with large helical period* 150

Education

Kosarina A.A., Fedotova A.Ye. *Strategies of author terms translation* 154

Kosarina A.A., Fedotova A.Ye.

The system of English and American law: comparison analysis 161

УДК 582.47:630*4.411.5

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ХВОЙНЫХ ПОРОД И ПУТИ ИХ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

Н.П. ЧЕРНОБРОВКИНА, *вед. науч. сотрудник, доц. Института леса Карельского научного центра РАН, д-р биол. наук*⁽¹⁾,

О.В. ЧЕРНЫШЕНКО, *проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р биол. наук*⁽²⁾,

А.В. ЕГОРОВА, *асп. Института леса Карельского научного центра РАН*⁽¹⁾,

М.И. ЗАЙЦЕВА, *ст. преподаватель, доц. Института лесных, инженерных и строительных наук ПетрГУ, канд. техн. наук*⁽³⁾,

Е.В. РОБОНЕН, *вед. физик Института леса Карельского научного центра РАН*⁽¹⁾

anast.shv@yandex.ru, 2003bk@bk.ru, mgul@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБУН Институт леса Карельского научного центра Российской академии наук, 185910, Республика Карелия, Петрозаводск, ул. Пушкинская, 11,

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1,

⁽³⁾ ФГБОУ ВО Петрозаводский государственный университет, 185910, Республика Карелия, Петрозаводск, пр. Ленина, 33

Совершенствуются и внедряются индустриальные методы создания лесных культур с использованием посадочного материала с закрытой корневой системой, обеспечивающие рациональное расходование семян, сокращение сроков выращивания сеянцев. Использование этой технологии при лесовосстановлении и в защитном лесоразведении является перспективным направлением, о чем свидетельствует большой интерес к нему как исследователей, так и производителей. Разработка технологии базируется на результатах эколого-физиологических исследований роста и развития сеянцев в связи с внешними условиями. Проводятся исследования по оптимизации физико-химических характеристик контейнерных субстратов. Их устойчивая структура для выращивания сеянцев хвойных пород должна сохраняться до двух-трех лет. В течение нескольких десятилетий лучшим для выращивания хвойных признан субстрат из верхового торфа, однако значительное внимание уделяется разработкам и испытаниям альтернативных вариантов. Испытываются различные материалы, в том числе органические отходы в виде компостов и смесей. Древесное волокно является перспективной и активно исследуемой в последние десятилетия альтернативой торфу. Оно имеет пористую, рыхлую и эластичную структуру, низкую объемную плотность и низкую степень усадки, хорошую дренированность, смачиваемость, отсутствие семян сорняков и патогенных микроорганизмов, в отличие от коры пригодно к использованию без длительного компостирования. Испытания контейнерных субстратов из различных древесных материалов при выращивании сеянцев хвойных пород оказались успешными. Отмечается зависимость качества лесных культур от вида кассет, используемых при выращивании посадочного материала. Важен рациональный выбор контейнерного субстрата с оптимизированными для роста сеянцев характеристиками. Использование контейнерных сеянцев позволяет механизировать и автоматизировать посадку лесных культур.

Ключевые слова: посадочный материал с закрытой корневой системой, сеянцы хвойных пород, контейнерный субстрат, торф, кассеты, лесные культуры.

Возрастная структура лесного фонда Республики Карелия в результате интенсивного лесопользования претерпела существенные изменения. Восстановление ресурсного потенциала таежных лесов является актуальной задачей лесного комплекса [2]. Разрабатываются и внедряются индустриальные методы создания лесных культур с использованием посадочного материала (ПМ) с закрытой корневой системой (ЗКС), обеспечивающие рациональное расходование семян, сокращение сроков выращивания сеянцев, возможность

применения средств механизации и автоматизации процесса посадки лесных культур [1, 3–8]. Вопросам разработки технологии выращивания ПМ ЗКС и его использования в культурах посвящены многие исследования, имеется практический опыт. Отмечается важность подготовки почвы, своевременности и качества проведения уходов на всех этапах лесовыращивания [1, 5, 8–13]. Новая агротехника выращивания ПМ, современная технология создания лесных культур активно внедряются на Северо-Западе таежной зоны

России [7, 14]. В республике Карелия объем выращивания ПМ сосны и ели с ЗКС достигает в сумме более 6 млн экз./год [13].

Теоретические подходы к разработке контейнерных технологий выращивания ПМ

Для оценки качества ПМ достаточно использовать биометрические показатели. Чтобы оценить соответствие условий выращивания потребностям сеянцев, важно охарактеризовать их физиологическое состояние на разных этапах в течение вегетационного периода. Количественными критериями могут являться: элементный и биохимический состав органов, интенсивность газообмена и водного обмена сеянцев [15–19]. Разработка современной технологии выращивания ПМ ЗКС базируется на результатах эколого-физиологических исследований роста и развития сеянцев в связи с уровнем освещенности, температуры, влажности, газового состава воздуха и почвы, содержанием элементов минерального питания в растительном субстрате [33]. Современное растениеводство с программируемой системой орошения, подкормок, управления посадочными машинами и пикировочными роботами, климат-контролем теплиц по строгому временному графику требует надежных контейнерных субстратов (КС) с гарантированным качеством, приготовленных из различных материалов, в том числе некоторых видов отходов, как в качестве единственного компонента, так и в комбинациях [34]. Основные компоненты субстрата, составляющие основную его часть, выражают в процентах от объема. К ним по весу, в граммах на килограмм или на литр субстрата, добавляют микроингредиенты, функционально крайне важные. Это удобрения, известковые и буферные материалы, связующие вещества, смачивающие агенты, гидрогели, химические пестициды, красители и другие вещества [34].

Для выращивания ПМ ЗКС необходимо производство КС с оптимизированными физико-химическими характеристиками, гарантирующими нормальное развитие корневой системы, обеспечивающими её хорошее

крепление, устойчивость растения, поступление воды, элементов питания [33]. Малообъемная технология выращивания диктует жесткие требования [20, 33]. Отсутствие контакта с почвой может грозить переувлажнением после полива и иссушением при интенсивном испарении [33]. КС должен обладать высокой влагоемкостью, хорошей смачиваемостью, малой насыпной плотностью, достаточной аэрируемостью, буферностью, высокой сорбционной способностью, иметь адекватное воздушное пространство (ВП) и водоудерживающую способность (ВС) в течение всего периода выращивания. Четкая информация о характеристиках КС необходима для отработки водного и нутриентного режима выращивания [35].

Требования к контейнерным субстратам для ПМ хвойных с ЗКС

Требования к КС для выращивания сеянцев хвойных пород, в отличие от однолетних растений, имеют особенности. Устойчивая структура КС должна сохраняться в течение двух-трех лет. Согласно рекомендациям для лесопитомников, после полива субстрат должен иметь 10–30 % ВП, 45–65 % ВС, 25–35 % доступной влаги, 25–35 % недоступной влаги, 50–85 % общей пористости и 0,19–0,70 г/см³ объемной плотности [36]. В процессе выращивания физические свойства КС изменяются, оседание и сегрегация частиц приводит к сокращению ВП, разложение органических веществ и физический распад конгломератов – к усадке [33, 37–40]. Формируя состав основных компонентов КС, учитывают интенсивность их микробиологического разложения. Введение опилок или гидролизного лигнина в состав КС на основе низинного торфа позволило существенно замедлить процесс разложения органического вещества субстрата в процессе выращивания ПМ [21].

Торфяные субстраты

В Финляндии, где торфяники занимают около трети территории, были проведены масштабные исследования химических и физических свойств торфа и разработана система интенсивного контейнерного выращивания ПМ на КС из верхового торфа с комплексом минеральных

удобрений [33, 41, 42], признанным в течение нескольких десятилетий лучшим для выращивания хвойных. Основные торфообразователи верховых болот – сфагновые мхи – подкисляют среду, придают ей антисептические свойства, содержат в 2–3 раза меньше зольных элементов, чем сфагновые мхи, произрастающие в мезотрофных условиях. Характерные торфообразователи болот, верховых – *Sphagnum fuscum* и переходных – *Sphagnum centrale*, содержат азота 0,59 и 0,92; фосфора 0,03 и 0,07, калия 0,36 и 0,92 соответственно [22]. Низкий уровень pH и нутриентов позволяют сформировать любой необходимый состав.

Альтернативные варианты компонентов контейнерных субстратов

В настоящее время КС в основном готовят из торфа, древесного волокна, кокосового волокна, перлита и вермикулита, из различного вида биоразлагаемых отходов и компостов [42]. Внутренние запасы торфа во многих странах Северо-Западной Европы с высокоразвитой культурой контейнерного растениеводства истощены, но используются в основном торфяные КС. Торф импортируют в основном из стран Балтии. В США, кроме торфа широко используют кору, вермикулит и перлит [34]. Вкладываются большие средства в разработку и испытание альтернативных вариантов компонентов КС [34]. Заменитель верхового торфа должен иметь необходимые свойства, быть доступным в больших объемах, унифицированным, экономически совместимым с потенциальным рынком [43].

Во многих регионах России нет промышленной заготовки верхового торфа, а низинный по своим характеристикам не соответствует требованиям технологии выращивания сеянцев хвойных с ЗКС. Попытка его модификации органическими отходами – гидролизным лигнином и опилкам – оказалась успешной. Введение добавок обеспечило стабильность КС и улучшило водно-воздушный обмен [21]. Оптимальная доля опилок составила 40–50 %, размер частиц компоста 1–5 мм и от 3–7 мм при выращивании сеянцев сосны и лиственницы соответственно [21]. Отходы коммунального хозяйства, лесопромыш-

ленного комплекса, целлюлозно-бумажной, горнодобывающей промышленности в виде компостов и смесей испытывали в качестве КС для хвойных пород [9, 10, 12, 21, 23, 24]. Разработка КС из биоотходов продолжается, что важно и с экологической точки зрения.

Контейнерные субстраты из древесного сырья

Слабо используемым биоресурсом являются порубочные остатки. В условиях Севера их органическое вещество медленно вовлекается в процесс биоконверсии. Совершенствование технологий глубокой безотходной переработки древесного сырья, максимально полного использования биомассы леса, является в России одним из приоритетных направлений развития лесопромышленного комплекса [10, 25–30]. Древесное волокно является перспективным и активно исследуемым в последние десятилетия альтернативным материалом для КС [44, 45]. Его преимуществами являются стабильные характеристики, наличие источников сырья вблизи мест использования и, как следствие, возможность сокращения транспортных расходов [46]. Испытания КС из разных древесных материалов: щепы кедра, лесных отходов [47], отходов лесопитомников [48], коммерческих древесноволокнистых субстратов [49, 50] щепы лиственных пород [51] в лесопитомниках оказались успешными [52]. Древесные волокна имеют пористую, рыхлую и эластичную структуру, низкую объемную плотность и низкую степень усадки, высокое ВП (хорошую дренированность), но очень низкую влагоемкость, хорошую смачиваемость; отсутствие семян сорняков, патогенных микроорганизмов, имеют pH_{H₂O} от 4,5 до 6,0 [34]. Испытания КС из измельченных неокоренных (90 % древесины и 10 % коры) и окоренных (100 % древесины) бревен сосны ладанной показали хорошие результаты [53]. Отходы, образующиеся при заготовке древесины и рубках ухода успешно использовали для выращивания как древесных, так и однолетних декоративных растений [10, 45, 54–56]. В КС на древесной основе отмечена более интенсивная микробная активность и иммобилизация азота, чем в КС из торфа или коры,

поэтому требуется внесение дополнительных удобрений [56].

Внедрение метода фиторемедиации почвы от тяжелых металлов растениями-аккумуляторами повлечет за собой проблему их утилизации. Предлагается приготовление КС для лесопитомников из растений – биофильтров [31, 32]. КС с компонентом из быстрорастущих древесных растений, перспективных в качестве фиторемедиантов, успешно использовали при выращивании семян сосны обыкновенной с ЗКС [9].

Использование ПМ ЗКС для создания лесных культур

Значительное внимание исследователей уделяется вопросам лесоводственной оценки результатов применения ПМ ЗКС в различных типах лесорастительных условий [1, 7, 11]. Рост лесных культур существенно зависит от ПМ, способа подготовки почвы, метода создания культур. ПМ ЗКС с первого года после посадки опережает по росту конкурирующую сорную растительность, имеет высокую приживаемость. Культуры, созданные ПМ с открытой корневой системой (ОКС), напротив, испытывают сильное влияние травянистой растительности [11]. Высокую приживаемость показали 1–2-летние культуры сосны, созданные ПМ ЗКС на вырубках сосняков брусничных в условиях среднетаежной подзоны, где сосредоточен основной лесокультурный фонд республики [7]. В черничных лесорастительных условиях приживаемость 1–3-летних культур составляла от 45 до 96 %. Применение ПМ ЗКС, как показали результаты обследования лесных культур, не гарантирует высокую сохранность посадок, необходим своевременный уход на всех этапах лесовыращивания [7]. Культуры, созданные в условиях вырубки сосняка зеленомошного свежего с обработкой и без обработки почвы, показали сохранность 98 % и 63 %, высоту 1,35 м и 0,8 м соответственно [1].

Зависимость качества лесных культур от вида используемых для ПМ ЗКС кассет

Более 100 различных видов ячеек и кассет, от торфяных и бумажных до пласт-

массовых, было разработано для выращивания семян с ЗКС [13]. Показано, что качество ПМ зависит от вида и объема кассет [6]. Сеянцы, выращенные в кассетах Pant, имели значительно большую общую длину корней, больший диаметр стволика по сравнению с выращенными в кассетах Plantek. В кассетах Ekorot получены наилучшие показатели высоты, объема стволика, количества и длины корней. Культуры, созданные ПМ ЗКС, выращенным в кассетах Ekorot, показали в 11-летнем возрасте сохранность на 8,0 и 9,9 % больше, чем созданные ПМ ЗКС, выращенным в кассетах Plantek и Pant соответственно [6].

Механизация посадочных работ при создании лесных культур

Посадку семян и саженцев древесно-кустарниковых пород можно осуществлять лесопосадочными машинами. Широко применяются в России лесопосадочные машины СЛЧ-1, СЛНЧ-1, ССН-1, ЛПА-1, МУЛ-1, МПП-1, МЛУ-1А, ЛМД-81, СЛГ-1, МЛБ-1 и другие [3]. Уровень механизации посадочных работ невысок и составляет 52–63 %. Накоплен некоторый опыт в применении кассетных автоматов подачи растений с ОКС, недостатком которых является необходимость выборки семян по размерам, строению корневой системы и кроны. Автоматы кассетного типа для семян с ОКС не получили применения ни у нас, ни за рубежом [3]. Проблема автоматизации процесса посадки связана с видом ПМ, который должен соответствовать требованиям работы автоматов. Внедрение технологии выращивания ПМ ЗКС позволит механизировать и автоматизировать процесс посадки.

Заключение

Использование ПМ ЗКС при лесовосстановлении и в защитном лесоразведении является перспективным направлением, о чем свидетельствует большой интерес к нему как исследователей, так и производителей. Отмечается зависимость качества лесных культур хвойных пород, созданных ПМ ЗКС, от вида кассет, используемых при его выращивании. Важен рациональный выбор вида контейнеров, КС с оптимизиро-

ванными для роста сеянцев характеристиками. Разработаны критерии оценки качества КС, приведены варианты КС, альтернативных торфяным, в том числе из древесных отходов. Выявлены особенности требований к КС для сеянцев хвойных пород. Использование контейнерных сеянцев позволит механизировать и автоматизировать посадку лесных культур.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института леса КарНЦ РАН на 2013–2016 гг. и Программы стратегического развития ПетрГУ на 2012–2016 гг., госбюджетной тематики МГУЛ.

Библиографический список

1. Гаврилова, О.И. Лесовосстановление вырубок и продуктивность лесных культур хвойных пород республики Карелия: дисс... докт. с/х наук: 06.03.01 / О.И. Гаврилова. – Архангельск. – 37 с.
2. Синькевич, С.М. Перспективы использования лиственно-еловых древостоев южной Карелии / С.М. Синькевич // Лесохозяйственная информация. – 2013. – № 2. – С. 36–39.
3. Бартев, И.М. Автоматизация процесса посадки растений / И.М. Бартев // Научный журнал КубГАУ. – 2012. – № 75. – С. 1–13.
4. Бобушкина, С.В. Интенсивность роста и развития сеянцев сосны с закрытой корневой системой при разных режимах выращивания для лесовосстановления в Архангельской области: дисс. канд. с/х. наук: 06.03.01 / С.Л. Бобушкина. – Архангельск, 2014. – 23 с.
5. Жигунов, А.В. Теория и практика выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / А.В. Жигунов. – СПб., 2000. – 293 с.
6. Мочалов, Б.А. Влияние вида кассет на размеры сеянцев сосны с закрытыми корнями и их рост в культурах на севере / Б.А. Мочалов, С.В. Бобушкина // Лесной журнал. – 2013. – № 5. – С. 65–70.
7. Соколов, А.И. Сохранность и рост культур сосны, созданных посадочным материалом с закрытой корневой системой в условиях Карелии / А.И. Соколов, В.А. Харитонов и др. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2015. – Т. 6. – № 6. – С. 46–56.
8. Гаврилова, О.И. Закономерности роста и продуктивности лесных культур сосны на стадии индивидуального роста (1–6 лет) / О.И. Гаврилова, В.К. Хлюстов // Resources and Technology. – 2013. – Т. 10. – № 1. – С. 44–72.
9. Зайцева, М.И. Использование порубочных остатков для приготовления торфяных субстратов при выращивании сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой / М.И. Зайцева, Е.В. Робонен, Н.П. Чернобровкина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2010. – № 1. – С. 4–8.
10. Зайцева, М.И. Обоснование новой технологии переработки порубочных остатков в компонент субстрата для выращивания сеянцев с закрытой корневой системой: дисс... канд. техн. наук: 05.21.01 / М.И. Зайцева. – Петрозаводск, 2010. – 17 с.
11. Морозова, И.В. Закономерности роста культур сосны в условиях сукцессий растительности на вырубках южной Карелии: дисс... канд. с/х наук: 06.03.01 / И.В. Морозова. – Архангельск, 2011. – 218 с.
12. Робонен, Е.В. Использование плавящего фосфорно-магниевого удобрения ПФМУ-2 при выращивании сеянцев хвойных пород с закрытой корневой системой / Е.В. Робонен, Н.П. Чернобровкина, М.И. Зайцева и др. // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2006. – № 6. – С. 34–37.
13. Степанов, С.А. Выращивание и использование посадочного материала с закрытой корневой системой // Учебное пособие для бакалавров, магистров и аспирантов / С.А. Степанов, М.И. Зайцева. – Петрозаводск, 2015. – 27 с.
14. Граник, А.М. Разработка новых приемов выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой / А.М. Граник, Н.К. Крук // Труды БГТУ – Лесное хозяйство. – 2015. – № 1. – С. 124–129.
15. Чернобровкина, Н.П. Обеспеченность элементами минерального питания хвойных растений в условиях лесных питомников Карелии / Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен, С.А. Иготти // Северная Европа в XXI веке: природа, культура, экономика: мат. междунар. конф., посвящ. 60-летию КарНЦ РАН, Петрозаводск, 24–27 окт. 2006 г. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2006. – С. 237–239.
16. Чернобровкина, Н.П. Влияние обеспеченности бором на рост сеянцев сосны обыкновенной / Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен, С.А. Иготти и др. // Лесоведение. – 2007. – № 5. – С. 69–76.
17. Чернобровкина, Н.П. Жирнокислотный состав суммарных липидов хвои сеянцев сосны обыкновенной в связи с обеспеченностью бором / Н.П. Чернобровкина, О.С. Дорофеева, М.К. Ильинова и др. // Физиология растений. – 2008. – Т. 55. – № 3. – С. 404–411.
18. Чернобровкина, Н.П. Аминокислотный состав хвои сеянцев сосны обыкновенной в связи с обеспеченностью бором / Н.П. Чернобровкина, О.С. Дорофеева, Е.В. Робонен // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2009. – № 3. – С. 56–61.
19. Чернобровкина, Н.П. Содержание азота, бора и аминокислот в хвое сосны обыкновенной при регуляции азотного и борного обеспечения / Н.П. Чернобровкина, Е.В. Робонен // Труды Карельского научного центра РАН. – 2015. – № 12. – С. 35–44.
20. Козловская, И.П. Экологическая оценка субстратов и анализ расхода элементов питания при малообъемном выращивании томата в зимних теплицах / И.П. Козловская // «Живые и биокосные системы». – 2014. – № 6. – Режим доступа: <http://www.jbks.ru/archive/issue-6/article-7>.
21. Мухортов, Д.И. Утилизация органических отходов при искусственном лесовосстановлении / Д.И. Мухортов, Е.М. Романов // Вестник ПГТУ. – 2013. – № 3. – С. 20–35.
22. Германова, Н.И. Почвенно-биологические процессы в осушенных лесах Карелии / Н.И. Германова, В.И. Саковец // Петрозаводск. – 2004. – 188 с.
23. Робонен, Е.В. Опыт разработки и использования контейнерных субстратов для лесных питомников. Альтернативы торфу / Е.В. Робонен, М.И. Зайцева, Н.П. Чернобровкина и др. // Resources and Technology. – 2015. – Т. 12. – № 1. – С. 47–76.

24. Тебенькова, Д.Н. Всхожесть семян и биометрические параметры сеянцев на субстратах из твердых отходов целлюлозно-бумажной промышленности / Д.Н. Тебенькова, Н.В. Лукина, Р.А. Воробьев и др. // Лесоведение. – 2014. – № 6. – С. 31–40.
25. Андреев, А.А. Технологии использования отходов лесопиления для устойчивого развития приграничных регионов на севере России / А.А. Андреев, М.И. Зайцева, Г.Н. Колесников и др. // Классический университет в пространстве трансграничности на севере Европы: стратегия инновационного развития: сб. матер. Междунар. форума, Петрозаводск, 9–13 декабря 2014 г. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2014. – С. 3–6.
26. Васильев, С.Б. Технологические решения для реализации потенциала ресурсосбережения при переработке круглых лесоматериалов на щепу / С.Б. Васильев, Л.А. Девятникова, Г.Н. Колесников и др. – Петрозаводск: ПетрГУ, 2013. – 97 с.
27. Егорова, А.В. Влияние хвойного экстракта на проращивание семян сосны обыкновенной / А.В. Егорова, М.И. Зайцева, Г.Н. Колесников, Ю.В. Никонова // Ресурсосберегающие технологии, материалы и конструкции. – Петрозаводск, 2014. – С. 38–43.
28. Егорова, А.В. Регуляторы роста в процессах прорастания семян и роста сеянцев хвойных пород / А.В. Егорова // Растения в условиях глобальных и локальных природно-климатических и антропогенных воздействий. – VIII Съезд Общества физиологов растений России: тез. докл. Всеросс. науч. конф. и школы для молодых ученых, 21–26 сентября 2015 г. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. – С. 183.
29. Зайцева, М.И. Утилизация отходов переработки хвои сосны обыкновенной / М.И. Зайцева, Е.В. Робонен, Н.П. Чернобровкина и др. // Деревянное малоэтажное домостроение: экономика, архитектура и ресурсосберегающие технологии: Сб. статей по мат-лам междунар. научно-практ. конф., Петрозаводск, 23–28 июня 2013 г. – Петрозаводск, Петрозаводский гос. ун-т, 2013. – С. 25–30.
30. Короткий, В.П. Биохимическое производство на базе лесосырьевых ресурсов / В.П. Короткий, Н.П. Чернобровкина, С.С. Марисов и др. // Труды СПбНИИЛХ, Инновации и технологии в лесном хозяйстве. – СПб, 2011. – Вып. 1 (24). – С. 91–94.
31. Робонен, Е.В. К проблеме утилизации фиторемедиантов / Е.В. Робонен, А.В. Егорова, М.И. Зайцева и др. // Мат-лы междунар. науч. конф. по биологии и биотехнологии растений, Алматы, 28–30 мая 2014 г. ИББР – Алматы, 2014. – С. 403.
32. Чернобровкина, Н.П. Влияние борной кислоты на способность растений поглощать тяжелые металлы / Н.П. Чернобровкина, А.Ф. Титов, Е.В. Робонен и др. // Экология. – 2012. – № 1. – С. 32–35.
33. Bunt A C. Media and Mixes for Container-Grown Plants. A manual on the preparation and use of growing media for pot plants. Loam or loamless media? 1988, pp.1–5. ISBN: 978-94-011-7906-5 (Print) 978-94-011-7904-1 (Online).
34. Schmilewski G. The role of peat in assuring the quality of growing media // Mires and Peat. 2008. Vol. 3, no 2., pp. 1–8.
35. Fukushima M., Yamamoto K., Ootsuka K., Komai T., Aramaki T., Ueda, S. Horiya S. Effects of the maturity of wood waste compost on the structural features of humic acids // Bioresource Technology. 2009. Vol. 100, no 2, pp. 791–797.
36. Yeager T. H., Fare D. C., J. Lea-Cox J. et al. Best management practices: Guide for producing container-grown plants. // 2nd Ed. Southern Nurserymen's Assoc., Marietta, GA. 2007.
37. Allaire-Leung, S. E. Changes in physical properties of peat substrates during plant growth // Can. J. Soil Sci. 1999. Vol. 79, pp. 137–139.
38. Bollen W. B., Glennie D. W. Sawdust, bark, and other wood wastes for soil conditioning and mulching // Forest Prod. J. 1961. Vol. 11. pp. 38–46.
39. Nash V.E., Laiche A. J. Changes in the characteristics of potting media with time. Commun. // Soil Sci. Plant Anal. 1981. Vol. 12, pp. 1011–1020.
40. Bilderback T. E. Lorscheider M.R. Physical properties of double-processed pine bark: Effects on rooting // Acta Hort. 1995. Vol. 401, pp. 77–83.
41. Puustjarvi V. Basin-Peat culture // Peat and Plant News. 1969. Vol. 2, pp. 20–4.
42. Bragg N. C. Peat and its Alternatives. Horticultural Development Council // Petersfield, Hampshire, 1990. 109 pp.
43. Evans M. R., S. Konduru S., Stamps R.H.. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. // HortScience. 1996. Vol. 31, pp. 965–967.
44. Gruda. N., Schnitzler W. H. Determination of volume weight and water content of wood fiber substrates with different methods // Agdbiol. Res. 1999. Vol. 52 no 2, pp. 163–170.
45. Jackson B. E., Wright R.D. Pine Tree Substrate: an Alternative and Renewable Substrate for Horticultural Crop Production. // Acta Hort. 2009. Vol. 819, pp. 265–272.
46. Alexander P.D., Bragg N.C., Meade R., Padelopoulos G., Watts O. Peat in Horticulture and Conservation: the UK Response to a Changing World. // Mires and Peat. 2008. Vol. 3, pp. 1–10.
47. Riviere L.M., Milhau C. The use of wood waste composts in the making of substrates for container crops // Acta Hort. 1983. Vol. 150, pp. 475–489.
48. Veijalainen A. M., Juntunen M. L., Lilja A., Heinonen-Tanski H., Tervo L. Forest nursery waste composting in windrows with or without horse manure or urea – the composting process and nutrient leaching // Silva Fennica. 2007. Vol. 41(1), pp. 13–27.
49. Bohne, H. Growth of nursery crops in peat–reduced and in peat-free substrates // H. Acta Hort. 2004. Vol. 644, pp. 103–106.
50. Lemaire F., Dartigues A., Riviere L.M. Physical and chemical characteristics of ligno–cellulosic material // Acta Hort. 1989. Vol. 238, pp. 9–15.
51. Kenna S. W., Whitcomb C. E. Hardwood chips as an alternative medium for container plant production // HortScience. 1985. Vol. 20, pp. 867–869.
52. Brown O. D. R., Emino E.R. Response of container-grown plants to six consumer growing media // HortScience 1981. Vol. 16. pp. 78–80.
53. Jackson B. E. Chemical, physical, and biological factors influencing nutrient availability and plant growth in a pine tree substrate // Virginia Polytechnic Institute & State Univ., Blacksburg, 2008. VA. PhD Diss.
54. Wright R. D., Browder J. F., Jackson B. E. Ground pine chips as a substrate for container-grown woody nursery crops // J. Environ. Hort. 2006. Vol. 24, pp. 181–184.
55. Boyer C. R. Evaluation of clean chip residual as an alternative substrate for container-grown plants // Auburn Univ., Auburn, 2008. AL. PhD Diss.
56. Fain, G.B., Gilliam C.H., Sibley J. L., Boyer C.R. Wholotree substrates derived from three species of pine in production of annual vinca. // HortTechnology. 2008. Vol. 18, pp. 13–17.

MODERN TECHNOLOGIES GROWING PLANTING MATERIAL OF CONIFEROUS SPECIES AND WAYS TO IMPROVE THEM

Chernobrovkina N.P., Assoc. Prof. Forest Research Institute of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Ph.D. (Biol.)⁽¹⁾; **Tshernychenko O.V.**, Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Biol.)⁽²⁾; **Egorova A.V.**, pg. Forest Research Institute of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences⁽¹⁾; **Zaitseva M.I.**, Assoc. Prof. Petrozavodsk State University⁽³⁾; **Robonen E.V.**, Forest Research Institute of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾

anast.shv@yandex.ru, 2003bk@bk.ru, mgul@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ Forest Research Institute of Karelian Research Centre Russian Academy of Sciences, Pushkinskaya av., 11, Petrozavodsk, 185910, Russia,

⁽²⁾ Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia,

⁽³⁾ Petrozavodsk State University, Lenin av. 33, Petrozavodsk, 185910, Russia

Industrial methods of forest crop establishment using container-grown stocking material are being improved and implemented, since this system ensures more efficient spending of seeds and reduces the time required to grow seedlings. Application of this technology in reforestation and shelterbelt afforestation is very promising, as evidenced by the high interest exhibited both by the researchers and forest practitioners. The technology is developed relying on the results of ecological and physiological studies of the growth and development of seedlings under various external conditions. Possibilities to optimize the physicochemical characteristics of container substrates are investigated. For growing coniferous seedlings, their structure needs to remain stable for two to three years. The bog peat substrate has been recognized for several decades as the best option for growing conifers, but considerable attention has also been paid to developing and testing alternative substrates. Various materials including composted and mixed organic wastes are tested. Wood fiber may be a good alternative to peat and has been actively studied in recent decades. It has a porous, loose and flexible structure, low bulk density and low shrinkage, good drainability and wettability, no weed seeds or pathogenic microorganisms, and is, unlike bark, suitable for use without prolonged composting. Trials of container substrates made of various woody materials for growing coniferous seedlings have been successful. Forest crop quality was found to depend on the type of cell packs in which the stocking material has been cultivated. Proper choice of the container substrate optimized for seedlings' growth is crucial. Application of container-grown seedlings will enable mechanized and automated outplanting in forestry.

Keywords: plant material with closed root system; seedlings of softwood, container substrate, peat, cassettes, forest plantations.

References

- Gavrilova O.I. *Lesovosstanovlenie vyrubok i produktivnost' lesnykh kul'tur khvoynykh porod respubliki Kareliya*. Diss. dokt. s.-kh. nauk [Reforestation of cuttings and productivity of forest plantations softwood Republic of Karelia. Dr. Agr. Sci. Diss.], Arkhangel'sk, 37p.
- Sin'kevich S.M. *Perspektivy ispol'zovaniya listvenno-eloovykh drevostoev yuzhnoy Karelii* [Prospects of using deciduous-spruce stands of southern Karelia], Lesokhozyaystvennaya informatsiya [Forestry Information], 2013, № 2, pp. 36-39.
- Bartenev I.M. *Avtomatizatsiya protsessa posadki rasteniy* [Automation planting process] Nauchnyy zhurnal KubGAU [Science magazine KubGAU], 2012, № 75, pp. 1-13.
- Bobushkina S.V. *Intensivnost' rosta i razvitiya seyantsev sosny s zakrytoy kornevoy sistemoy pri raznykh rezhimakh vyrashchivaniya dlya lesovosstanovleniya v arkhangel'skoy oblasti*. Diss. kand. s.-kh. nauk [The intensity of growth and development of pine seedlings with closed root system under different growing conditions for reforestation in the Arkhangel'sk Region, Cand. Agr. Sci. Diss.], Arkhangel'sk, 2014, 23 p.
- Zhigunov A.V. *Teoriya i praktika vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Theory and practice of cultivation of planting material with closed root system], SPb., 2000, 293 p.
- Mochalov B.A. *Vliyaniye vida kasset na razmery seyantsev sosny s zakrytymi kornyami i ikh rost v kul'turakh na severe* [Influence of the type of cassettes on the sizes of pine seedlings with closed roots and their growth in the north of cultures]. Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal, 2013, №5, pp. 65-70.
- Sokolov A.I., Kharitonov V.A., Pekkoev A.N., Krivenko T.I. *Sokhrannost' i rost kul'tur sosny, sozdannykh posadochnym materialom s zakrytoy kornevoy sistemoy v usloviyakh Karelii* [Preservation and growth of pine cultures created planting material with closed root system in Karelia]. Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal. 2015, V. 6, № 6 (348), pp. 46-56.
- Gavrilova O.I., Khlyustov V.K. *Zakonomernosti rosta i produktivnosti lesnykh kul'tur sosny na stadii individual'nogo rosta (1-6 let)* [Patterns of growth and productivity of forest plantations of pine at the stage of personal growth (1-6 years)]. Resources and Technology, 2013, V. 10, № 1, pp. 44-72.
- Zaitseva M.I., Robonen E.V., Chernobrovkina N.P. *Ispol'zovanie porubochnykh ostatkov dlya prigotovleniya torfyanykh substratov pri vyrashchivaniy seyantsev sosny obyknovennoy s zakrytoy kornevoy sistemoy* [The use of forest residues for cooking peat substrates for growing seedlings of Pinus sylvestris with closed root system]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2010, № 1, pp. 4-8.
- Zaitseva M.I. *Obosnovaniye novoy tekhnologii pererabotki porubochnykh ostatkov v komponent substrata dlya vyrashchivaniya seyantsev s zakrytoy kornevoy sistemoy*. Diss. kand. tekhn. nauk. [Justification of new technology for the processing of forest residues in the substrate component for growing seedlings with closed root system. Cand. Tech. Sci. Diss.]. Petrozavodsk, 2010, 17 p.

11. Morozova I.V. *Zakonomernosti rosta kul'tur sosny v usloviyakh suksessiy rastitel'nosti na vyrubkakh yuzhnoy Karelii*. Diss. kand. s.-kh. nauk [Laws of pine crop growth in vegetation succession in clearings southern Karelia. Cand. Agr. Sci. Diss.], Arkhangel'sk, 2011, 218 p.
12. Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Zaytseva M.I., Lebedeva G.A., Ozerov G.P. *Ispol'zovanie plavlennogo fosforno-magnievogo udobreniya PFMU-2 pri vyrashchivanii seyantsev khvoynykh porod s zakrytoy kornevoy sistemoy* [The use of fused magnesium phosphate-fertilizer PFMU-2 for growing seedlings of softwood with closed root system]. Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, № 6, 2006, pp. 34-37.
13. Stepanov S.A., Zaytseva M.I. *Vyrashchivanie i ispol'zovanie posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [The cultivation and use of planting material with closed root system], Petrozavodsk, 2015, 27 p.
14. Granik A.M., Kruk N.K. *Razrabotka novykh priemov vyrashchivaniya posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy* [Development of new methods of cultivation of planting material with closed root system]. Trudy BGTU. Lesnoe khozyaystvo [Proceedings BSTU. Forestry], 2015, № 1, pp. 124-129.
15. Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Igotti S.A. *Obespechennost' elementami mineral'nogo pitaniya khvoynykh rasteniy v usloviyakh lesnykh pitomnikov Karelii* [Security elements of mineral nutrition of conifers in Karelia forest nurseries.]. Severnaya Evropa v KhKhI veke: priroda, kul'tura, ekonomika Materialy mezhdunarodnoy konferentsii, posvyashchennoy 60-letiyu KarNTs RAN [Northern Europe in XXI century: nature, culture, the economy of the International Conference dedicated to the 60th anniversary of the Karelian Research Centre of Russian Academy of Sciences], 2006, pp. 237-239.
16. Chernobrovkina N.P., Robonen E.V., Igotti S.A., Dorofeeva O.S., Shengelia I.D. *Vliyaniye obespechennosti borom na rost seyantsev sosny obyknovennoy* [The effect of collateral boron on growth of seedlings of Scots pine]. Lesovedenie [Silviculture], 2007, № 5, pp. 69-76.
17. Chernobrovkina N.P., Dorofeeva O.S., Il'ina M.K., Robonen E.V., Vereshchagin A.G. *Zhirkokislennyi sostav summarnykh lipidov khvoi seyantsev sosny obyknovennoy v svyazi s obespechennost'yu borom* [Fatty acid composition of total lipids needles of Scots pine seedlings due to security boron]. Fiziologiya rasteniy [Физиология растений], 2008, V. 55, № 3, pp. 404-411.
18. Chernobrovkina N.P., Dorofeeva O.S., Robonen E.V. *Aminokislennyi sostav khvoi seyantsev sosny obyknovennoy v svyazi s obespechennost'yu borom* [The amino acid composition of the needles of Scots pine seedlings due to security boron] Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2009, № 3, pp. 56-61.
19. Chernobrovkina N.P., Robonen E.V. *Soderzhanie azota, bora i aminokislot v khvoe sosny obyknovennoy pri regulyatsii azotnogo i bornogo obespecheniya* [The content of nitrogen, boron, and the amino acids common in pine needles in the regulation of nitrogen and boron provide]. Trudy Karel'skogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk [Transactions of Karelian Research Centre of the Russian Academy of Sciences], 2015, № 12, pp. 35-44.
20. Kozlovskaya I.P. *Ekologicheskaya otsenka substratov i analiz raskhoda elementov pitaniya pri maloob'emnom vyrashchivanii tomata v zimnikh teplitsakh* [Environmental assessment of substrates and analysis of battery consumption during low-volume cultivation of tomato in winter hothouses]. Zhivye i biokosnye sistemy [Living and biokosnye system], 2014, № 6, URL: <http://www.jbks.ru/archive/issue-6/article-7> (Obrashchenie 15.12.2014).
21. Mukhortov D.I., Romanov E.M. *Utilizatsiya organicheskikh otkhodov pri iskusstvennom lesovosstanovlenii* [Recycling organic wastes in artificial reforestation.]. Vestnik PGTU. [Bulletin PSTU], 2013, № 3(19), pp. 20-35.
22. Germanova N.I., Sakovets V.I. *Pochvenno-biologicheskie protsessy v osushennykh lesakh Karelii* [Soil-biological processes in drained forests of Karelia], Petrozavodsk, 2004, 188 p.
23. Robonen E.V., Zaytseva M.I., Chernobrovkina N.P., Chernyshenko O.V., Vasil'ev S.B. *Opyt razrabotki i ispol'zovaniya konteynernykh substratov dlya lesnykh pitomnikov. Al'ternativy torfu* [Experience in the development and use of container substrates for forest nurseries. Alternatives to peat]. Resources and Technology [Resources and Technology], 2015, V. 12, № 1, pp. 47-76. DOI: 10.15393/j2.art.2015.3081.
24. Teben'kova D.N., Lukina N.V., Vorob'ev R.A., Orlova M.A., Gagarin Yu.N. *Vskhozhest'semyan i biometricheskie parametry seyantsev na substratakh iz tverdykh otkhodov tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti* [Seed germination and seedling biometric parameters on substrates of solid waste pulp and paper industry]. Lesovedenie [Silviculture], 2014, № 6, pp. 31-40.
25. Andreev A.A., Zaytseva M.I., Kolesnikov G.N., Chalkin A.A. *Tekhnologii ispol'zovaniya otkhodov lesopileniya dlya ustoychivogo razvitiya prigranichnykh regionov na severe Rossii* [Technology use sawmill waste for sustainable development of the border regions in the north of Russia]. Klassicheskiy universitet v prostranstve transgranichnosti na severe Evropy: strategiya innovatsionnogo razvitiya materialy Mezhdunarodnogo foruma. Petrozavodskiy gosudarstvennyy universitet [Classic University in transborder space in the north of Europe: a strategy of innovative development of the International Forum of materials], Petrozavodsk, 2014, pp. 3-6.
26. Vasil'ev S.B., Devyatnikova L.A., Kolesnikov G.N., Simonova I.V. *Tekhnologicheskie resheniya dlya realizatsii potentsiala resursoberezheniya pri pererabotke kruglykh lesomaterialov na shchepu* [Technological solutions for the realization of the potential resource in the processing of round timber to wood chips], Petrozavodsk: PetrGU, 2013, 97p.
27. Egorova A.V. *Vliyaniye khvoynogo ekstrakta na prorashchivanie semyan sosny obyknovennoy* [Influence of pine extract on the germination of seeds of Scots pine]. Resursoberegayushchie tekhnologii, materialy i konstruksii [Resource-saving technologies, materials and constructions], 2014, pp. 38-43.
28. Egorova A.V. *Regulyatory rosta v protsessakh prorastaniya semyan i rosta seyantsev khvoynykh porod* [Growth regulators in the process of seed germination and growth of seedlings of conifers]. Rasteniya v usloviyakh global'nykh i lokal'nykh prirodno-klimaticheskikh i antropogennykh vozdeystviy VIII s'ezd obshchestva fiziologov rasteniy Rossii; vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya i shkola dlya molodykh uchenykh. [Plants in the context of global and local climatic and anthropogenic impacts VIII Congress of Russian Society of Physiologists of plants; Scientific Conference and the School for Young Scientists], 2015, pp. 183.

29. Zaytseva M.I., Robonen E.V., Chernobrovkina N.P., Kolesnikov G.N. *Utilizatsiya otkhodov pererabotki khvoi sosny obyknovennoy* [Disposal of ordinary needles pine recycling]. Derevyannoe maloetazhnoe domostroenie: ekonomika, arkhitektura i resursosberegayushchie tekhnologii [Wooden low-rise housing construction: the economy, architecture and resource-saving technologies], Petrozavodsk, Petrozavodsk State University, 2013, pp. 25-30.
30. Korotkiy V.P., Chernobrovkina N.P., Marisov S.S., Velikanov V.I., Robonen E.V. *Biokhimicheskoe proizvodstvo na baze lesosyr'evykh resursov* [Biochemical production based on forest resources Innovation and technology in forestry] Innovatsii i tekhnologii v lesnom khozyaystve: Mat-ly Mezhdunarod. Konf. Trudy SPbNILH [Materials of the International. Conf. Proceedings SPbNILH], V. 1(24), 2011, pp. 91–94. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=RU2015C03791>.
31. Robonen E.V. Egorova A.V., Zaytseva M.I., Stepanov S.A., Chernobrovkina N.P. *K probleme utilizatsii fitoremedyantov* [On the problem of disposing fitoremedyantov]. Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii po biologii i biotekhnologii rasteniy (28-30 maya 2014 g., Almaty) [Proceedings of the International Scientific Conference on Plant Biology and Biotechnology (28-30 May 2014, Almaty)], Almaty: IBBR, 2014, pp. 403.
32. Chernobrovkina N.P., Titov A.F., Robonen E.V., Morozov A.K. *Vliyaniye bornoy kisloty na sposobnost' rasteniy pogloshchat' tyazhelye metally* [Effect of boric acid on the ability of plants to absorb heavy metals]. *Ekologiya* [Ecology], № 1, 2012, pp. 32–35.
33. Bunt A.C. Media and Mixes for Container-Grown Plants. A manual on the preparation and use of growing media for pot plants. Loam or loamless media? 1988, pp.1-5. ISBN: 978-94-011-7906-5 (Print) 978-94-011-7904-1 (Online).
34. Schmilewski G. The role of peat in assuring the quality of growing media. *Mires and Peat*. 2008. Vol. 3, no 2., pp. 1-8.
35. Fukushima M., Yamamoto K., Ootsuka K., Komai T., Aramaki T., Ueda, S. Horiya S. Effects of the maturity of wood waste compost on the structural features of humic acids. *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100, no 2, pp. 791-797.
36. Yeager T. H., Fare D. C., J. Lea-Cox J. et al. Best management practices: Guide for producing container-grown plants. 2nd Ed. Southern Nurserymen's Assoc., Marietta, GA. 2007.
37. Allaire-Leung, S. E. Changes in physical properties of peat substrates during plant growth. *Can. J. Soil Sci.* 1999. Vol. 79, pp. 137-139.
38. Bollen W. B., Glennie D. W. Sawdust, bark, and other wood wastes for soil conditioning and mulching // *Forest Prod. J.* 1961. Vol. 11. pp. 38-46.
39. Nash V.E., Laiche A. J. Changes in the characteristics of potting media with time. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 1981. Vol. 12, pp. 1011-1020.
40. Bilderback T. E. Lorscheider M.R. Physical properties of double-processed pine bark: Effects on rooting. *Acta Hort.* 1995. Vol. 401, pp. 77-83.
41. Puustjarvi V. Basin-Peat culture // *Peat and Plant News*. 1969. Vol. 2, pp. 20-4.
42. Bragg N. C. Peat and its Alternatives. Horticultural Development Council. Petersfield, Hampshire, 1990. 109 pp.
43. Evans M. R., S. Konduru S., Stamps R.H.. Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience*. 1996. Vol. 31, pp. 965-967.
44. Gruda. N., Schnitzler W. H. Determination of volume weight and water content of wood fiber substrates with different methods. *Agdbiol. Res.* 1999. Vol. 52 no 2, pp. 163-170.
45. Jackson B. E., Wright R.D. Pine Tree Substrate: an Alternative and Renewable Substrate for Horticultural Crop Production. *Acta Hort.* 2009. Vol. 819, pp. 265-272.
46. Alexander P.D., Bragg N.C., Meade R., Padelopoulos G., Watts O. Peat in Horticulture and Conservation: the UK Response to a Changing World. *Mires and Peat*. 2008. Vol. 3, pp. 1-10.
47. Riviere L.M., Milhau C. The use of wood waste composts in the making of substrates for container crops. *Acta Hort.* 1983. Vol. 150, pp. 475-489.
48. Veijalainen A. M., Juntunen M. L., Lilja A., Heinonen-Tanski H., Tervo L. Forest nursery waste composting in windrows with or without horse manure or urea – the composting process and nutrient leaching. *Silva Fennica*. 2007. Vol. 41(1), pp. 13–27.
49. Bohne, H. Growth of nursery crops in peat- reduced and in peat-free substrates. H. *Acta Hort.* 2004. Vol. 644, pp.103-106.
50. Lemaire F., Dartigues A., Riviere L.M. Physical and chemical characteristics of ligno- cellulosic material. *Acta Hort.* 1989. Vol. 238, pp. 9-15.
51. Kenna S. W., Whitcomb C. E. Hardwood chips as an alternative medium for container plant production. *HortScience*. 1985. Vol. 20, pp. 867-869.
52. Brown O. D. R., Emimo E.R. Response of container-grown plants to six consumer growing media. *HortScience* 1981. Vol. 16. pp. 78-80.
53. Jackson B. E. Chemical, physical, and biological factors influencing nutrient availability and plant growth in a pine tree substrate. Virginia Polytechnic Institute & State Univ., Blacksburg, 2008. VA. PhD Diss.
54. Wright R. D., Browder J. F., Jackson B. E. Ground pine chips as a substrate for container-grown woody nursery crops. *J. Environ. Hort.* 2006. Vol. 24, pp. 181-184.
55. Boyer C. R. Evaluation of clean chip residual as an alternative substrate for container-grown plants. Auburn Univ., Auburn, 2008. AL. PhD Diss.
56. Fain, G.B., Gilliam C.H., Sibley J. L., Boyer C. R. Wholetree substrates derived from three species of pine in production of annual vinca. *HortTechnology*. 2008. Vol. 18, pp.13-17.

УДК633.877.1

ДИНАМИКА ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ КЕРНОВ ИЗ ДЕРЕВЬЕВ ПИХТЫ ПО КАТЕГОРИЯМ САНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ

А.А. КОЛЕСНИКОВА, доц. Поволжского ГТУ, канд. техн. наук ⁽¹⁾,
Т.Ф. ХАЙБРАХМАНОВА, Поволжский ГТУ⁽¹⁾

kolesnikovaaa@volgatech.net, tanzilya-0311@yandex.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,
424029, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

Техногенное загрязнение природной среды может привести к весьма существенным экологическим последствиям. По учетным деревьям, произрастающим на определенной территории, возможен анализ ее экологического состояния. В результате исследований ученых было выявлено, что среди произрастающих деревьев наиболее чувствительна воздействию внешней неблагоприятной среды пихта. Степень экологической устойчивости, механизмы адаптации деревьев к неблагоприятным факторам внешней среды можно охарактеризовать при изучении их водного режима. Влажность древесины зависит от впитывающей способности растущих деревьев. Исследовались шесть деревьев в возрасте 60–69 лет с разными категориями санитарного состояния, произрастающие вдоль канавы, по которой весной стекают талые воды. Поздней осенью были извлечены образцы-керы на уровне 1,3 м с северной и южной сторон ствола. Влажность древесины определялась в процессе высвобождения влаги до комнатно-сухого состояния. Анализируется влияние категории санитарного состояния на влажность древесины в растущем и в комнатно-сухом состоянии. Наблюдается тесная связь категории состояния с изменением влажности древесины с северной стороны ствола (со стороны загрязняющей канавы). С ухудшением категории санитарного состояния деревьев наблюдается тенденция уменьшения влажности древесины в растущем состоянии, что свидетельствует о различной впитывающей способности. По графикам изменения влажности в процессе сушки резкое снижение влажности древесины происходит в первые двое суток, что свидетельствует о беспрепятственном удалении свободной влаги. Удаление связанной воды из здорового дерева более продолжительное и затруднительное, чем из нездорового дерева. Полученные закономерности изменения влажности древесины в процессе сушки для деревьев разных категорий санитарного состояния позволяют прогнозировать технологические режимы сушки в процессе деревопереработки, а также целенаправленно – по качеству – использовать по назначению.

Ключевые слова: древесина, пихта сибирская, влажность древесины в растущем состоянии, влажность древесины в комнатно-сухом состоянии, категория санитарного состояния.

При стремительном развитии промышленной индустрии техногенное загрязнение природной среды может привести к весьма существенным экологическим последствиям [1].

Наибольшему влиянию загрязняющих выбросов подвержены живые организмы. По учетным деревьям, произрастающим на определенной территории, возможен анализ ее экологического состояния. По внешним признакам: усыханию по стволу и кроне, ослабленности – деревья можно разделить на категории санитарного состояния [2, 3], которые меняются от здорового к нездоровому.

Среди деревьев наиболее чувствительна к воздействию внешней неблагоприятной среды пихта сибирская [4–6]. Реагируя на атмосферные выбросы, экологические и другие факторы, хвоя пихты желтеет.

Степень экологической устойчивости, механизмы адаптации деревьев к неблагоприятным факторам внешней среды можно оха-

актеризовать изучением их водного режима [7, 8]. Водный режим дерева меняется как в течение вегетационного периода, так и в самом стволе. При исследовании влажности восьми растущих деревьев ели в течение вегетационного периода двух лет наименьшие значения наблюдаются в сентябре – ноябре (26–32 %) [9]. Распределение влажности в стволах деревьев ели по среднегодовым данным для заболони равно 122 %, а для ядра – 38 % [10].

Т а б л и ц а 1

Количество деревьев пихты по категориям санитарного состояния
The number of fir trees by the sanitary state categories

Категории	Количество, шт.
1	26
2	17
3	13
4	9
5	23
6	72

Лесотаксационная характеристика выдела
Stratum forest taxational characteristics

№ выдела	Площадь, га	Состав. Подрост, подлесок, покров, почва, рельеф, особенности выдела. Отметка о порослевом происх. Наим. катег. незалес. земель. Характеристика лесных культур. Кадастровая оценка	Ярус	Высота яруса	Возраст	Бонитет	Тип леса ТЛУ
19	1,5	6СЗЕ1П+Б; подлесок – БРК Р средний; тип ландшафта – закрыт. гориз. сом; класс эстетич. оценки – 1; санитар.-гиг. оценка – высокая; класс устойчивости – 2; деградация лесной среды – 1	1	25	70	1	СЛК В2

Т а б л и ц а 3

Характеристика деревьев
Trees characteristics

№ дерева	Возраст, лет	Высота дерева, м	Диаметр в комле, см	Диаметр на уровне 1,3 м, см
9	66	23,6	50	37
6	20	6,5	7,5	7
4	62	20,2	42	30
3	60	20,2	29	23
5	58	12,6	17	14,5
7	60	23,1	32	30

Влажность древесины растущих деревьев зависит от их впитывающей способности, которая может зависеть от состояния самого дерева или от категории санитарного состояния. В одинаковых условиях роста у различных деревьев она может быть разной. Кроме того, процесс усыхания древесины для здорового и нездорового дерева может протекать также по-разному.

Цель статьи – исследование изменения влажности древесины растущих деревьев разных категорий санитарного состояния в процессе кондиционирования.

На территории 19 выдела 68 квартала Кортинского лесничества, (табл. 2) [11] был проведен подсчет деревьев пихты по категориям санитарного состояния.

Для исследования были отобраны по визуальным признакам шесть деревьев 60–69 лет с разными категориями санитарного состояния. Учетные деревья произрастают вдоль канавы, по которой весной стекают талые воды. Недалеко от истока канавы расположены очистные сооружения канализации.

Поздней осенью, когда влажность древесины у деревьев в здоровом состоянии отличается незначительно, из деревьев с северной (со стороны канавы) и южной сторон на уровне 1,3 м были извлечены керны. Раны от извлечения кернов замазывались садовым варом. Извлеченные из дерева керны укладывались в пробирки, закупоривались и доставлялись в лабораторию. Общее число кернов 12 шт. Характеристика деревьев представлена в табл. 3.

У кернов измерялась масса через каждые сутки в процессе высвобождения влаги до приобретения постоянного значения при комнатных условиях среды (температура $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ и влажность $W = 65 \pm 5\%$). Продолжительность естественного высыхания измерялась сутками, поэтому первый замер проводился через 1,1 сут. после момента извлечения керна из дерева. Масса образцов измерялась на электронных весах с точностью 0,0005 г. По разности масс по прямому методу [12] определялась влажность древесины, %, в растущем состоянии W_n , в комнатно-сухом состоянии, W_k , табл. 4.

Влажность древесины в растущем и комнатно-сухом состоянии по категориям санитарного состояния

Wood moisture in the growing trees and dry wood conditions according to the sanitary state categories of the trees

№ дерева	Категория санитарного состояния, <i>n</i>	Расстояние от дерева до канавы, <i>L</i> , м	Влажность древесины в растущем состоянии, W_n , %		Влажность древесины в комнатно-сухом состоянии, W_k , %	
			Северная сторона ствола	Южная сторона ствола	Северная сторона ствола	Южная сторона ствола
9	1	43,7	79,9	66,7	6,1	7,9
6	2	2,5	73,5	96,3	5,5	5,5
4	3	15,5	81,0	68,2	8,9	9,7
3	4	15,5	68,2	87,5	5,7	7,7
5	5	13,5	41,8	46,3	6,0	7,0
7	6	25	32,6	50,0	6,7	6,8

Т а б л и ц а 5

Параметры формулы изменения влажности в растущем состоянии образцов от категории санитарного состояния

Formula parameters of the growing samples moisture changes according to the sanitary state categories

Параметры формулы	Показатели	
	Северная сторона ствола	Южная сторона ствола
<i>A</i>	100,65585	84,44922
<i>B</i>	-0,14200	-0,07885
<i>S</i>	12,095	23,239
<i>R</i>	0,85	0,43

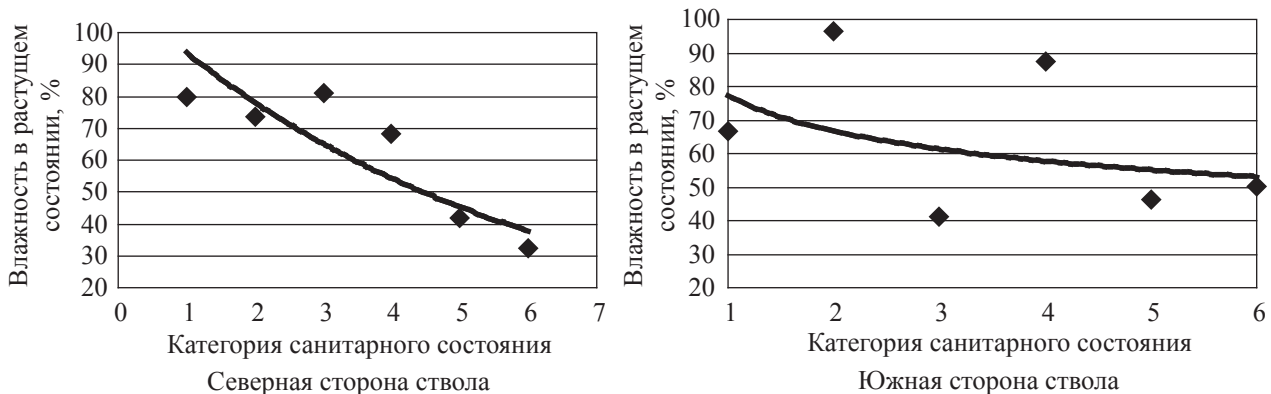


Рис. 1. График зависимости влажности в растущем состоянии от категории санитарного состояния
Fig. 1. Schedule of the moisture dependence of growing trees on their sanitary state categories

Показатели свойств, полученные в процессе эксперимента, обрабатывались в программной среде CurveExpert и получены зависимости показателей от времени сушки.

Общая формула изменения влажности $W_n(n)$ в растущем состоянии для разных деревьев в зависимости от изменения категории санитарного состояния для обеих сторон ствола имеет вид

$$W_n = a \exp(bn), \quad (1)$$

где a, b – параметры формулы (табл. 5),
 n – категория санитарного состояния (табл. 2),
 S – сумма квадратов отклонений,
 r – коэффициент корреляции.

График зависимости формулы (1) приводится на рис. 1.

С южной стороны ствола разброс показателей больше, чем с северной стороны. Низкий коэффициент корреляции ($r = 0,43$) свиде-

Параметры формулы изменения влажности в процессе сушки образцов деревьев № 5-с и № 6-с

Moisture changing formula parameters of wood samples, trees № 5-c and № 6-c, during the drying process

Параметры формулы	Показатели	
	Дерево № 6-с	Дерево № 5-с
<i>A</i>	82,486111	36,047714
<i>B</i>	-18,20266	-3,850193
<i>C</i>	-1,3772839	-0,32424529
<i>D</i>	7,3283627	6,0870767
<i>S</i>	2,199	0,739
<i>R</i>	0,99	0,99

Изменение влажности от времени сушки

Moisture changing depending on the drying time

Время сушки <i>τ</i> , сутки	Влажность образца-керна дерева № 6-с, %			Влажность образца-керна дерева № 5-с, %		
	<i>W</i> ^с	<i>W</i>	Δ , %	<i>W</i> ^с	<i>W</i>	Δ , %
1,1	73,53	73,53	0,00	41,79	41,77	0,05
2,16	7,05	7,33	-3,91	9,19	9,83	-6,97
3,13	9,86	7,33	25,69	8,29	7,32	11,77
4,12	9,83	7,33	25,48	7,80	6,68	14,40
5,16	9,72	7,33	24,61	6,20	6,43	-3,79
6,05	6,27	7,33	-16,86	6,30	6,34	-0,66
8,09	5,99	7,33	-22,36	6,22	6,25	-0,34
8,99	5,89	7,33	-24,42	5,55	6,23	-12,27
9,9	5,82	7,33	-25,92	5,94	6,22	-4,71
15,05	5,52	7,33	-32,85	6,00	6,23	-3,71

тельствует о том, что с южной стороны ствола влияние категории состояния на изменение влажности незначительное. Более тесная связь ($r = 0,85$) для этих деревьев с северной стороны ствола (со стороны канавы). С ухудшением категории санитарного состояния наблюдается тенденция уменьшения влажности древесины в растущем состоянии.

Влажность древесины пихты в растущем состоянии определяет впитывающую способность древесины, ее водный режим в процессе роста. Впитывающая способность здоровых деревьев регулируется самим деревом, клетками проводящих тканей заболони, сердцевинных лучей, порами в клеточных стенках, поэтому в них поддерживается водный баланс, необходимый для их жизнедеятельности. При нарушении проводящих функций в худших категориях санитарного состояния происходит водный дисбаланс в стволе, чем можно объяснить низкие значе-

ния показателей влажности (5, 6 категории). Однако нарушение проводящих функций у разных деревьев в связи с их различным состоянием жизнедеятельности может отличаться даже в различных частях по высоте и радиусу ствола (локальные нарушения), чем можно объяснить высокое значение влажности дерева № 3 с южной стороны ствола (со стороны склона), а визуальные характеристики 4-й категории.

Изменение влажности древесины в процессе сушки приводится на примере здорового и нездорового деревьев (рис. 2): дерево № 6 – вторая категория санитарного состояния (здоровое дерево), дерево № 5 – пятая категория санитарного состояния (нездоровое дерево).

В зависимости от времени естественного высыхания τ (кондиционирования в комнатных условиях) влажность изменяется по закону

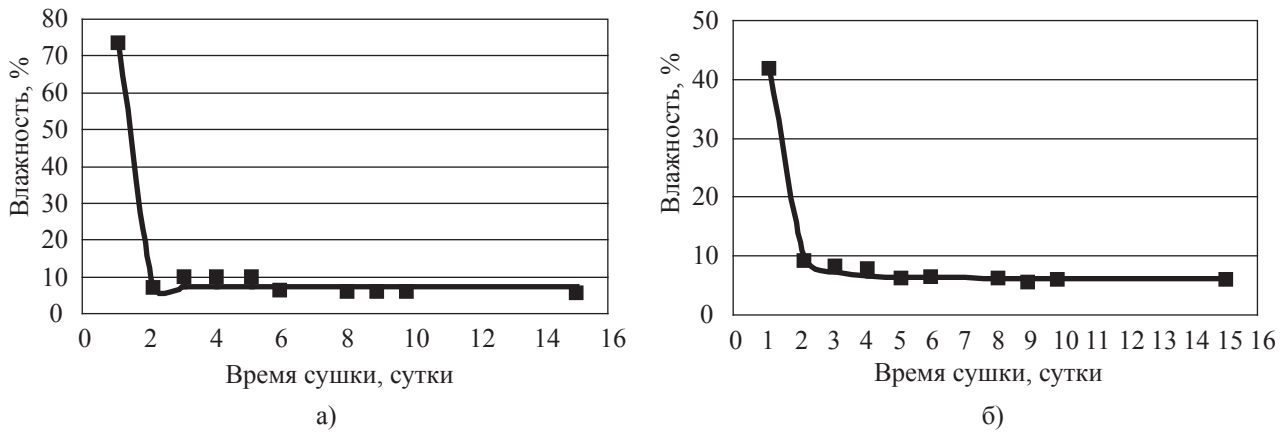


Рис. 2. График изменения влажности в процессе сушки: а) дерево № 6-с, б) дерево № 5-с.
Fig. 2. Schedule of the moisture changing during the drying process

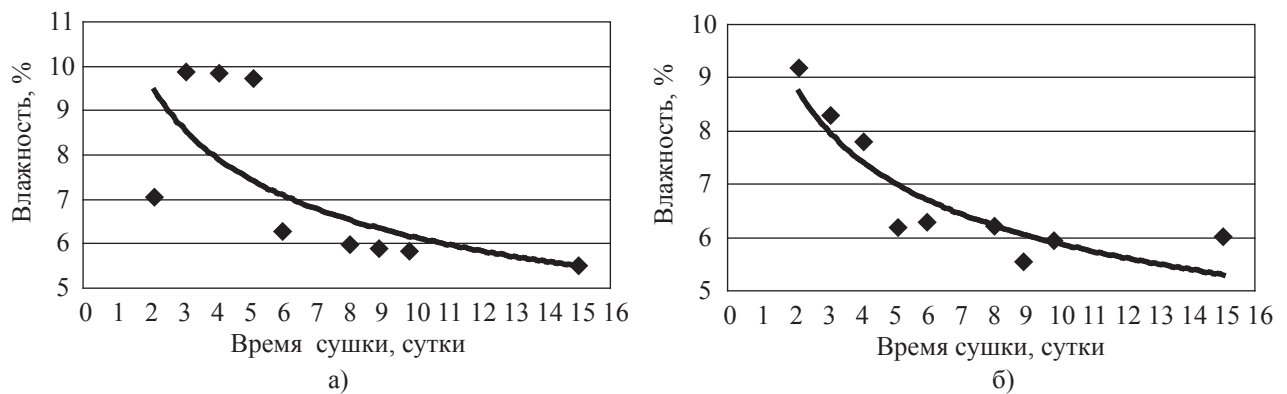


Рис. 3. График колебательных изменений влажности в процессе сушки: а) дерево № 6-с, б) дерево № 5-с
Fig. 3. Schedule of the vibrational moisture changing during the drying process

$$W = at^b \exp(-ct) + d, \quad (2)$$

где a, b, c, d – параметры формулы (табл. 6),
 S – сумма квадратов отклонений,
 r – коэффициент корреляции.

Перед закономерностью экспоненциальной гибели указано одно число, которое показывает начальную влажность зерна.

Фактические и расчетные значения влажности зерна, а также значения относительной погрешности (%) приведены для здорового дерева № 6-с 2-й категории и отмирающего дерева № 5-с 5-й категории (табл. 7).

Относительная погрешность формулы (2) определяется как

$$\Delta = 100(|y' - y|/y'), \quad (3)$$

где y', y – фактические и расчетные значения исследуемых показателей.

Максимальная относительная погрешность Δ_{\max} , которая в табл. 5 подчеркнута, характеризует минимальную допустимую доверительную вероятность $100 - \Delta_{\max}$.

Значение доверительной вероятности по табл. 5 для формулы (2): для дерева № 6-с (здоровое) не ниже $100 - 32,85 = 67,15\%$; для дерева № 5-с (нездоровое) не ниже $100 - 14,40 = 85,6\%$.

По обоим графикам резкое снижение влажности древесины происходит в первые двое суток, что свидетельствует о беспрепятственном удалении свободной влаги. Удаление связанной воды более продолжительное и затруднительное, о чем свидетельствуют графики колебательных изменений влажности в период 2–15 суток (рис. 3).

Разброс показателей влажности определяется по формуле

$$\Delta W = 100(W_{\max} - W_{\min})/W_{\max}, \quad (4)$$

где W_{\max}, W_{\min} – максимальное и минимальное значение колеблющейся комнатной влажности древесины.

При удалении связанной воды разброс значений по влажности ($\Delta W = 44,1\%$) для

здорового дерева (№ 6-с) больше, чем для нездорового дерева (№ 5-с) – $\Delta W = 39,6\%$. Значение влажности на 15-е сутки для здорового дерева $W = 7,33\%$, что также больше, чем для нездорового – $W = 6,23\%$.

Таким образом, древесина нездорового дерева подвергается сушке лучше, чем древесина здорового дерева.

Выводы

1. С ухудшением категории санитарного состояния дерева его впитывающая способность уменьшается.

2. Удаление связанной воды из здорового дерева более продолжительное и затруднительное, чем из нездорового дерева.

3. Полученные закономерности изменения влажности древесины в процессе кондиционирования для деревьев разных категорий санитарного состояния позволяют прогнозировать технологические режимы сушки в процессе деревопереработки, а также целенаправленно – по качеству – использовать их по назначению.

Библиографический список

1. Глобальная экологическая перспектива ГЕО₄. Окружающая среда для развития. Резюме для лиц, принимающих решения. Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде, первое издание. – Найроби, Кения. – 2007. – 36 с.
2. Об утверждении санитарных правил в лесах, расположенных на территории Московской области. [Приказ

- федеральной службы лесного хозяйств № 5 от 12 января 1999 года.: зарег. в Мин-во юстиций РФ 15 марта 1999 г.]. – М.: 1999. – 43с.
3. Алексеев, И.А. Лесное товароведение с основами древесиноведения: Учебное пособие / И.А. Алексеев, О.И. Полубояринов. – Йошкар-Ола, 2006. – 406 с.
4. Воронин, В.И. Влияние сероорганических компонентов атмосферных выбросов на пихту сибирскую / В.И. Воронин, М.К. Соков // Лесоведение. – 2005. – № 2. – С. 62–71.
5. Рунова, Е.М. Влияние техногенного загрязнения на состояние хвойных древостоев: дис. ... докт. с/х наук / Рунова Елена Михайловна. – Братск, 2001. – 373 с.
6. Сухарева, Т.А. Пространственно-временная динамика микроэлементного состава хвойных деревьев и почвы в условиях промышленного загрязнения / Т.А. Сухарева // Лесной журнал. – 2013. – № 6. – С. 19–28.
7. Карасев, В.Н. Особенности водного режима деревьев ели европейской в ранневесенний период / В.Н. Карасев, М.А. Карасева // Лесной журнал. – 2011. – № 1. – С. 37–42.
8. Чернышенко, О.В. Экофизиологические аспекты водного обмена растущего дерева / О.В. Чернышенко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 1998. – № 1. – С. 116–120.
9. Вакин, А.Т. К методике определения влажности непродушенной древесины / А.Т. Вакин // Лесной журнал. – 1959. – № 1. – С. 126–131.
10. Колесникова, А.А. Метод отбора резонансной древесины ели в растущем состоянии: дис. ... канд. техн. наук / А.А. Колесникова. – Йошкар-Ола: Марийский государственный технический университет, 1998. – 262с.
11. Об утверждении лесоустроительной инструкции. [Приказ Министерства природных ресурсов № 31 от 06 февраля 2008 года.: зарег. в Мин-во Юстиций РФ 12 мая 2008 г.]. – М.: 2008. – 57с.
12. Уголев, Б.Н. Древесиноведение с основами лесного товароведения / Б.Н. Уголев. – М.: МГУЛ, 2001. – 340 с.
13. Miller P.R., Me Bride J.R. Effects of air pollutants on forests. In.: Responses of plants to air pollution / Eds. J.B. Mudd, T.T. Kozlowski // New York: Akademie Press. – 1975. – p. 195–235.

DYNAMICS OF MOISTURE OF WOOD FROM ABIES KERN BY SANITARY STATE CATEGORIES

Kolesnikova A.A., Assoc. Prof. Volga State University of Technology, Ph.D. (Tech)⁽¹⁾; Khaibrakhmanova T.F., Volga State University of Technology⁽¹⁾

kolesnikovaaa@volgatech.net, tanzilya-0311@yandex.ru

⁽¹⁾ Volga State University of Technology, Yoshcar-Ola, Russia Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education «Volga State University of Technology», Lenin Square, 3, Yoshcar-Ola, 424029, Russia

Technogenic environmental pollution can lead to a serious ecological effect. It is possible to analyze the ecological state of a certain area according to the condition of the experimental trees growing in this area. The researches of different scientists showed that among all growing trees abies is affected by adverse environment the most. The degree of environmental sustainability and the mechanisms of trees adaptation to adverse environmental factors can be characterized by the studying of their plant moisture status. Wood moisture content depends on the imbibing capacity of the growing trees. Six trees aged 60-69 years of different sanitary state categories and growing along the ditch in which the spring melt-water flows down were investigated. Core-samples were taken late autumn at the level of 1,3 meters from the northern and southern sides of a tree trunk. Wood moisture content was determined during the procedure of wood drying to the ambient moisture level. The influence of the sanitary state category on the wood moisture content of growing trees and dry wood was analyzed. There is a close connection between the category of the state and the change of wood moisture content on the north side of the stem (which is the part closer to the polluting ditch). With the deterioration of sanitary condition category of the trees among the growing trees there is a tendency of the wood moisture content to reduce, indicating their different imbibing capacity. According to the wood moisture

content changing schedules during the drying process in the first two days there is a sharp decrease of wood moisture content, which demonstrates unhampered discharge of free moisture. The process of the removal of attached water from a healthy tree is longer and more difficult than from an unhealthy one. The received regularities of wood moisture changing during the drying process for trees of different sanitary state categories make it possible to predict the process parameters of drying in the course of woodworking industry and also purposefully – on quality – to use them for designated purpose.

Keywords: wood, abies sibirica, green moisture, service moisture content, category sanitary state.

References

1. *Global'naya ekologicheskaya perspektiva GEO4. Okruzhayushchaya sreda dlya razvitiya. Rezyume dlya lits, primayushchikh resheniya. Programma Organizatsii Ob'edinennykh Natsiy po okruzhayushchey srede, pervoe izdanie* [Global environment Outlook GEO4. Environment for development. Summary for decision makers. United Nations environment programme, first edition], Nairobi, Kenya, 2007, 36 p.
2. *Ob utverzhenii sanitarnykh pravil v lesakh, raspolozhennykh na territorii Moskovskoy oblasti* [On approval of sanitary rules in the forests located on the territory of Moscow region]. The order of the Federal service of forestry No. 5 dated January 12, 1999: registered in the Ministry of justice of the Russian Federation on March 15, 1999, Moscow: 1999, 43 p.
3. Alekseev I.A. Poluboyarinov O.I. *Lesnoe tovarovedenie s osnovami drevesinovedeniya* [Forestry Wood-merchandising with the basics], MarGTU, Yoshkar-Ola, 2006, 406 p.
4. Voronin V.I. *Vliyanie seroorganicheskikh komponentov atmosferykh vybrosov na pikhtu sibirskuyu* [The impact of atmospheric emissions of organic sulfur components of Abies Sibirica]. *Lesovedenie* [Forest science], Moscow, 2005, № 2, pp. 62-71.
5. Runova E.M. *Vliyanie tekhnogenogo zagryazneniya na sostoyanie khvoynykh drevostoev*. Diss. dokt. s.-kh. nauk [Influence of technogenic pollution on coniferous stands. Dr. Agr. Sci. Diss.]. Bratsk, 2001, 373 p.
6. Sukhareva T.A. *Prostranstvenno-vremennaya dinamika mikroelementnogo sostava khvoynykh derev'ev i pochvy v usloviyakh promyshlennogo zagryazneniya* [Spatio-temporal dynamics of trace-element composition of coniferous trees and soil in industrial pollution]. *Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal*, Arkhangelsk, 2013, № 6, pp. 19-28.
7. Karasev, V.N. *Osobennosti vodnogo rezhima derev'ev eli evropeyskoy v ranneve-sennyiy period* [Features of the water regime of spruce trees in early spring]. *Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal*, Arkhangelsk, 2011, № 1, pp. 37-42.
8. Chernyshenko, O.V. *Ekofiziologicheskie aspekty vodnogo obmena rastushchego dereva* [Ecophysiological aspects of water metabolism growing tree]. *Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik*, Moscow, 1998, № 1, pp. 116-120.
9. Vakin, A.T. *K metodike opredeleniya vlazhnosti neprosushennoy drevesiny* [By the method of determining moisture unseasoned wood]. *Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal*, Arkhangelsk, 1959, № 1, pp. 126-131.
10. Kolesnikova A.A. *Metod otbora rezonansnoy drevesiny eli v rastushchem sostoyanii*. Diss. cand. s.-kh. nauk [The method of selecting a resonant spruce wood in a growing state. Cand. Agr. Sci. Diss.]. MarGTU. Yoshkar-Ola, 1998. 262 p.
11. *Ob utverzhenii lesoustroitel'noy instruktsii* [On approval of the forest management manual]. The order of the Ministry of Natural Resources No. 31 of February 6, 2008. registered in the Ministry of justice of the Russian Federation on May 12, 2008, Moscow, 2008, 57 p.
12. Ugolev B.N. *Drevesinovedenie s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science the basics of Commodity science forest], Moscow: MGULPubl, 2001, 340 p.
13. Miller P.R., Me Bride J.R. Effects of air pollutants on forests. In.: *Responses of plants to air pollution* / Eds. J.B. Mudd, T.T. Kozlowski // New York: Akademie Press. 1975. p. 195-235.

УДК 630*23+582.475(571.17)

ОРЕХОВО-ПРОМЫСЛОВЫЕ ЗОНЫ И ИХ СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ (НА ПРИМЕРЕ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ)

Н.М. ДЕБКОВ, *ст. преподаватель НИ ТГУ, канд. с.-х. наук*⁽¹⁾,
С.В. ЗАЛЕСОВ, *проф., УГЛТУ, д-р с.-х. наук*⁽²⁾,
А.С. ОПЛЕТАЕВ, *доц. УГЛТУ, канд. с.-х. наук*⁽²⁾.

zalesov@usfeu.ru

⁽¹⁾ ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский государственный университет»,
634050, г. Томск, пр. Ленина, 36

⁽²⁾ ФГБОУ ВПО «Уральский государственный лесотехнический университет»,
620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37

Рассмотрена история выделения и современного состояния орехово-промысловых зон в Российской Федерации. Отмечается, что их выделение не всегда приводило к положительным результатам. Нередко в территорию орехово-промысловых зон входили участки некоторых засаженым лесом земель, болота, насаждения других пород лесообразователей и низкобонитетные насаждения. Орехово-промысловые зоны средней подзоны тайги имеют наибольшее участие некедровых элементов в своем составе. В южной тайге практически все насаждения являются кедровыми. Примерно такая же ситуация складывается с производительностью древостоев, а именно среднетаежные орехово-промысловые зоны включают значительную долю низкобонитетных кедровников. Анализ современного состояния насаждений орехово-промысловых зон Томской области показал, что во всех изучаемых зонах доля кедровников в общей площади, доля насаждений кедр сибирского V–V а, б классов бонитета, доля насаждений с участием кедр сибирского менее 4 единиц в составе древостоев, площадь спелых и перестойных кедровых древостоев, а также минимальная орехопродуктивность соответствует требованиям, предъявляемым при выделении орехово-промысловых зон. В то же время анализ современного состояния насаждений этих зон свидетельствует, что практически все насаждения кедр сибирского в средней тайге и многолесных районах южной тайги находятся на завершающем этапе восстановительно-возрастной динамики и, учитывая их условно одновозрастную структуру, можно прогнозировать в ближайшее время ухудшение их санитарного состояния, постепенное локальное (ветровалы) или масштабное (повальные лесные пожары) их разрушение, что приведет к потере целевого статуса орехово-промысловых зон. Другими словами, насаждения орехово-промысловых зон требуют разработки практических научно обоснованных рекомендаций по омоложению древостоев, повышению устойчивости и орехопродуктивности.

Ключевые слова: сосна сибирская (кедр сибирский), кедровник, орехово-промысловая зона, устойчивость, возраст, возрастная структура, орехопродуктивность.

Орехово-промысловые зоны по целевому назначению входят в защитных лесах в категорию ценных лесов [16]. Основная причина их выделения связана с целью прижизненного использования кедровников, отличающихся высокой семенной продуктивностью [2].

Первая попытка организации орехово-промысловых зон связана с разработкой в 1939 г. инструкции по эксплуатации кедровых лесов [6], где рекомендовалось закрепить кедровые насаждения, имеющие орехово-промысловое значение, за охотопромысловыми хозяйствами, колхозами и сельскими советами. Ввиду рекомендательного характера положений инструкции, касающихся орехово-промысловых зон, их закрепление на практике не проводилось.

Ситуацию переломило постановление Совета Министров СССР, вышедшее в 1953 г. и обязавшее во всех районах, где имеются

кедровые насаждения, выделить орехово-промысловые зоны [3]. Однако многие продуктивные кедровники уже находились в лесосырьевых базах и интенсивно осваивались.

Необходимо отметить, что включение кедровников в состав орехово-промысловых зон не означало, что они были спасены от рубки. Зачастую по требованиям лесной промышленности практиковалась замена орехово-промысловых зон. Например, в 1954 г. было принято постановление по Хабаровскому краю и Новосибирской области о выделении орехово-промысловых зон [26]. Но уже через 2 года вышло распоряжение об исключении транспортно доступных насаждений для лесозаготовок и были выделены участки, которые не интересовали лесную промышленность [20]. Не смогли изменить ситуацию и ограничения, предусматривавшиеся «Временными правилами рубок глав-

ного пользования в кедровых лесах», принятыми в 1954 г. [13].

Позитивные сдвиги в решении проблемы кедра произошли в результате постановления Совета Министров РСФСР «О мерах по улучшению использования кедровых насаждений, развитию промыслов и увеличению заготовок кедровых орехов, пушнины, боровой дичи и дикорастущих ягод в таежных лесах Сибири, Дальнего Востока и Севера европейской части РСФСР» [22]. В частности, на основании этого постановления в Архангельской области было вынесено решение, согласно которому лесхозы должны были устанавливать планы по сбору кедрового ореха для выращивания с целью расширения кедровых насаждений [14]. Попытки введения сбора дикоросов в орехово-промысловых зонах повторялись [24], но безуспешно.

Кардинально не изменило ситуацию постановление «Об улучшении ведения хозяйства в кедровых лесах» [25]. Положительным было указание на организацию пожарно-химических станций около орехово-промысловых зон и установление сроков орехосбора. Но ошибочным было требование о посадках кедра по кедровым вырубкам.

Переломным моментом в комплексном использовании кедра стала конференция в Новосибирске, прошедшая в 1959 г. [15] и оказавшая значительное влияние на последующее решение проблемы кедра. Например, в том же году было принято специальное постановление в Республике Коми, которое ввело в числе прочих запрет на рубку кедра на территории региона [23].

Логическим завершением сложившейся ситуации явился запрет на рубку кедра повсеместно в 1989 г. [21]. Указанная в этом постановлении разработка «Руководства по организации и ведению хозяйства в кедровых лесах (кедр сибирский)» была осуществлена. В данном руководстве [29] есть небольшой раздел по орехопромыслу, но не об орехово-промысловых зонах. Последовавший приказ МЛХ СССР, прописывающий комплексную оценку кедровых насаждений, в первую очередь, в зоне действия лесозаготовительных предприятий, практически не был выполнен

[19]. Т. е. основы комплексного использования заложены не были, несмотря на то, что потенциал был.

До настоящего времени нет федерального нормативного документа, регламентирующего ведение хозяйства в орехово-промысловых лесах. Только под руководством академика А.Б. Жукова, указывавшего на необходимость расширения площади орехово-промысловых зон, Институтом леса и древесины СО АН СССР были разработаны «Методические указания по выделению орехово-промысловых зон и организационно-хозяйственному разделению их при лесоустройстве» [10].

На сегодняшний день проблема кедра наглядно прослеживается на примере орехово-промысловых зон. Нет актуализированной информации ни о количественных (площадь), ни о качественных (состояние) характеристиках. Отсутствует научно обоснованный механизм включения новых насаждений кедра, образовавшихся в процессе восстановительно-возрастной динамики, в состав орехово-промысловых зон.

Материалы и методики

Выделение орехово-промысловых зон проводилось работниками региональных управлений лесами (обычно лесхозами) по материалам лесоустройства, часто выполненного по самым низким разрядам, без осмотра участков в натуре. Далее подготовленные материалы в виде предложений поступали в региональные администрации, которые рассматривали их и при положительном отзыве отправляли в Москву на утверждение. В конечном итоге выходило постановление правительства о выделении орехово-промысловых зон [27].

При этом леса, включаемые в орехово-промысловые зоны, характеризовались такими показателями древостоя, как состав, возраст, высота, диаметр, полнота, запас, выход деловой древесины, то есть показателями, не имеющими отношения к целевому назначению этой категории защитности. При установлении границ орехово-промысловых зон в первую очередь учитывались интересы лесной промышленности как ведущей отрасли хозяйства в многолесных районах Сибири.

Опыт выделения орехово-промысловых зон показал наличие двух противоречивых тенденций. Стремление включить в орехово-промысловое хозяйство только наиболее продуктивные кедровники противоречит их территориальной целостности. В этом случае орехово-промысловая зона состоит из отдельных, часто небольших (несколько гектаров) выделов, разбросанных по всей территории лесничества и не связанных единой транспортно-сетью. При этом нельзя организовать комплексное хозяйство, и использование орехово-промысловых зон ограничивается заготовкой орехов.

При выделении орехово-промысловых зон единым крупным массивом, в нее включаются зачастую далеко не самые ценные участки, часто минусовые или распадающиеся древостои, частично нелесные земли. В то же время, крупный лесной массив упрощает организацию комплексного хозяйства по использованию ресурсов кедровой тайги.

Усугубляло ситуацию и то, что по вопросу функционального использования орехово-промысловых зон не было единого мнения среди ученых. Т.П. Некрасова [18] понимала под орехово-промысловыми зонами участки, выделенные для промыслов и заготовки кедровых орехов. В.К. Добровольский [9] считал орехово-промысловые зоны базами для организации комплексного хозяйства по использованию богатств кедровой тайги. С.А. Хлатин [30] предлагал включать в орехово-промысловые зоны лесные массивы по их естественным рубежам для полного использования богатств кедровой тайги. Позднее Н.П. Мишуков [17] для южной и средней тайги Западной Сибири предложил основным назначением орехово-промысловых зон считать заготовку кедрового ореха, для северной тайги – другие промыслы.

Критерии отнесения к орехово-промысловым зонам также разнятся. Например, по данным Ю.Н. Ильичева [12], эксплуатационные урожаи продуцируют кедровые насаждения в возрасте 160–280 лет, I–IV классов бонитета, травяных и зеленомошных типов леса с участием кедра не менее 30 %. В.Н. Воробьев [5] при определении площадей орехосбора, учитывая, что рентабельным следует считать

орехопромысел при сборе ореха более 20 кг/га, в расчет рекомендовал принимать только насаждения лесохозяйственного комплекса с урожайностью более 50 кг/га. При разработке пособия по дикоросам в Томской области в орехоносную площадь включены кедровые насаждения травяных и зеленомошных типов леса с участием кедра не менее 30 %, II–IV классов бонитета в возрасте 140–280 лет в южной тайге и 160–300 лет в средней тайге [1]. Все эти рекомендации касаются орехоносной площади. Конкретные придержки по орехово-промысловым зонам разработаны И.А. Бехом [6], по которым в составе этих зон выделяются кедровые насаждения травяных, зеленомошных и других типов леса производительностью не ниже IV класса бонитета в возрасте до 280 лет, орехопродуктивностью не менее 75 кг/га. Согласно комплексной эколого-ресурсной оценке, это насаждения лесохозяйственного и селекционно-семенного типов комплексного пользования. При смешанном составе древостоя участие кедра должно быть не менее 5 единиц. При наличии в составе лиственных пород присутствие кедра может быть снижено до 4 единиц.

С целью анализа соответствия требованиям существующих орехово-промысловых зон мы используем далее рекомендации, прописанные в «Положении о ведении хозяйства в кедровых лесах ХМАО-Югра» [11], по которым территории следует считать перспективными для организации орехово-промысловых зон, если они не удовлетворяют следующим требованиям:

- доля кедровников в общей площади участка менее 25 %;
- доля насаждений кедра V–Va–б бонитета превышает 50 % от площади кедровников;
- количество кедровых насаждений с полнотой 0,3–0,4 превышает 50 % от площади кедровников;
- площадь кедровников, имеющих в составе менее 4 единиц кедра, превышает 50 %;
- площадь спелых и перестойных кедровников (более 240 лет) превышает 50 %;

– минимальная орехопродуктивность кедровников, пригодная для промышленного использования, принимается равной 50 кг/га, а доля хозяйственно возможного сбора ореха – 50 %.

Результаты и их обсуждение

Заготовка ореха является основным элементом комплексного использования орехово-промысловых зон. Согласно нашим данным, в среднем урожай ореха в таежных орехово-промысловых зонах оцениваются в 60 кг/га, что близко к ранее опубликованным данным [1], по которым этот показатель – 55 кг/га. Т. е. если судить только по показателю орехопродуктивности, существующие орехово-промысловые зоны соответствуют пороговым значениям.

Современное использование кедровых лесов орехово-промысловых зон остается крайне неравномерным. Основные заготовки ореха производятся в транспортно-доступных и припоселковых кедровниках. Фактический сбор ореха составляет 8–10 % от хозяйственно возможного. По данным Л.Е. Волошиной [4], в Томской области орехопромыслом освоены все припоселковые кедровники, до 30 % площадей орехово-промысловых зон и 10–15 % транспортно доступных таежных кедровников. В припоселковых кедровниках и частично в орехово-промысловых зонах заготовка ореха проводится через передачу участков в аренду, на других территориях – бесконтрольно. Работы по повышению урожайности кедровых лесов не выполняются.

На текущий момент общая площадь лесов, переданных в аренду с целью заготовки кедрового ореха, в Томской области составляет 126 тыс. га, что ровно в 10 раз меньше площади перспективных для орехопромысла кедровников. Арендная плата составляет около 4 млн руб. в год. Общий объем кедрового ореха, разрешенный к заготовке, равен 915 т, который меньше хозяйственного урожая в припоселковых кедровниках (1,1 тыс. т). Это соответствует сбору с 1 га чуть более 7 кг ореха при ставке 22 коп., что говорит в пользу практически бесплатного использования кедровых лесов с целью заготовки ореха. Примечательно, что более 95 % арендованной

территории сосредоточено в средней подзоне тайги. Это указывает как на сложности с арендой в более густонаселенной южной тайге, так и на наличие более крупных массивов в средней тайге, где заготовка рентабельней.

В целом на орехово-промысловые зоны приходится 1,4 % от общей площади лесного фонда Томской области. При этом в составе таких зон на 1/3 больше земель, покрытых лесом. Это, в частности, обусловлено как отсутствием лесозаготовок, так и системой формирования орехово-промысловых зон. Интересен тот факт, что в этой категории защитности в 3 раза меньше площадей лесных культур, которые на фоне равнозначности площадей несомкнувшихся культур позволяют сделать вывод о примерно в 3 раза большей гибели культур кедр на территории орехово-промысловых зон. Причиной является низкая перспективность возобновления кедр посредством искусственных посадок в таежной зоне, особенно на площадях, бывших под этой породой. Земли, не покрытые лесной растительностью, такие как естественные редины, питомники и лесные плантации отсутствуют на территориях орехово-промысловых зон, а также такие земли, пригодные для выращивания леса, как пустыри и прогалины. Среди нелесных земель отсутствуют пашни, сенокосы, пастбища и др., что приводит к меньшему их содержанию в составе орехово-промысловых зон более чем в 7 раз. Симптоматично, что гарей в 3 раза, а погибших насаждений в 8 раз больше на территории орехово-промысловых зон, нежели в других категориях лесов. Это свидетельствует о плохом фитосанитарном состоянии кедровых насаждений. Также это указывает на то, что многие насаждения находятся на завершающем этапе восстановительно-возрастной динамики [31].

Следует заметить, что в орехово-промысловых зонах сосредоточено почти 10 % кедровых лесов области. Примечательно, что возрастная структура кедровых насаждений неоднородна и примерно 21 % спелых и перестойных кедровых лесов области входит в состав орехово-промысловых зон, что сказывается на их состоянии. На это указывает и средний возраст кедровников орехово-про-

мысловых зон, который равен 218 годам, в то время как средний возраст кедровников по всем лесам области – 174 года, т. е. ниже на целый класс возраста. Распределение по группам возраста также показывает, что преобладают приспевающие (46 %) и спелые и перестойные (30 %) насаждения, значительную долю составляют средневозрастные кедровники (23 %) и совсем незначительную – молодняки (1 %). Характеристика лесного фонда орехово-промысловых зон, по данным государственного лесного реестра, показывает, что породный состав на 93 % представлен кедром, на 3 % – сосной, на 0,5 % – елью, на 0,5 % – пихтой, на 2 % – березой и на 1 % – осинкой. В целом и по этим показателям (породная и возрастная структуры) орехово-промысловые зоны соответствуют своему назначению. Для верификации этих выводов ниже рассмотрены случайным образом выбранные орехово-промысловые зоны с учетом лесорастительного и лесоэкономического районирования.

В 2013 г. Департаментом лесного хозяйства были выделены лесодефицитные и многолесные районы [28]. В нашем исследовании в средней тайге для анализа взяты орехово-промысловые зоны Верхнекетского района, в южной тайге – Молчановского (многолесного) и Кривошеинского (лесодефицитного) районов. Именно эти районы представляют интерес для организации орехопромысла.

Проведенный анализ структуры орехово-промысловых зон в средней подзоне тайги Томской области (табл. 1), которая наименее освоена и где сохранились массивы продуктивных кедровников, показал, что 22 % территории представлено болотами и насаждениями других формаций (сосняками и березняками). Болота, как правило, переходные сфагнового (осоково-сфагнового) типа с мощностью торфа 1,5–2 м и проективным покрытием клюквы 20 %. В основном они зарастают сосной на 20–45 %. Сосняки представлены практически чистыми насаждениями возрастом 140–160 лет, V–Va классов бонитета, полнотой 0,3–0,5 сфагнового типа леса. Березняки в основном мшистого типа

леса возрастом 45–55 лет и полнотой 0,7–0,9. И сосняки и березняки имеют под пологом кедровый подрост, что позволяет с учетом местообитания отнести березняки к потенциальным кедровникам. Среди кедровых насаждений наиболее представлены кедровники с долей участия кедра 5–7 единиц (51 %), далее идут кедровники с долей участия кедра 8–10 единиц (23 %) и меньше всего кедровников с долей участия кедра 3–4 единицы (4 %).

Насаждения кедра с долей участия 3–4 единицы в составе на 20 % представлены молодняками, остальные 80 % кедровников являются спелыми и перестойными. При этом наиболее продуктивные насаждения классов бонитета (IV и выше) составляют 60 %, относятся к мшистому типу леса, остальные 40 % низкобонитетных кедровников поровну составляют травяно-болотный и сфагновый типы лесов. Оптимальные полноты (0,5 и больше) имеют 60 % насаждений. Селекционная оценка их такова, что 33 % насаждений протаксированы как минусовые. Средний обобщенный балл урожайности составляет 1,7 с орехопродуктивностью в 37 кг/га.

Насаждения кедра с долей участия 5–7 единиц в составе на 5 % представлены молодняками, остальные 95 % кедровников являются спелыми и перестойными. При этом насаждения наиболее продуктивных классов бонитета (IV и выше) составляют 80 %, относятся к мшистому, разнотравному и частично в травяно-болотному типам лесов, остальные 20 % поровну составляют насаждения травяно-болотного и сфагнового типов леса. Оптимальные полноты (0,5 и больше) имеют 88 % насаждений. Селекционная оценка их такова, что 39 % насаждений протаксированы как минусовые. Средний обобщенный балл урожайности составляет 1,6 с орехопродуктивностью в 70 кг/га.

Насаждения кедра с долей участия 8–10 единиц в составе на 100 % представлены спелыми и перестойными древостоями. При этом наиболее продуктивные насаждения классов бонитета (IV и выше) составляют 83 % и относятся к мшистому типу леса, остальные 17 % низкобонитетных кедровников представлены насаждениями травяно-болот-

Состав орехово-промысловых зон Томской области, %
The composition of nut-business zones of the Tomsk region, %

Категория	Южная тайга (лесодефицитный район)	Южная тайга (многолесной район)	Средняя тайга
Кедровники с долей участия кедра, ед.:			
3–4	47	30,5	4
5–7	53	68,5	51
8–10	–	0,5	23
Болото	–	–	10
Сосняки	–	0,5	10
Березняки	–	–	2

Т а б л и ц а 2

Характеристика насаждений орехово-промысловых зон Томской области
Characteristics of the plants of walnut-fishing zones of the Tomsk region

Подзона	Доля кедра, ед.	Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Класс бонитета	Тип леса	Полнота, ед.	Запас, м ³ /га
Средняя тайга	3–4	280–300	16–22	26–42	IV–V	сф, мш, тб	0,4–0,6	130–290
		20	3	2	IV	мш	0,4	10
	5–7	170–325	17–25	26–48	III–V	мш, тб, рт, сф	0,4–0,6	140–340
		30	6	6	IV	мш	0,4	30
8–10		295–340	18–25	36–48	III–V	мш, тб	0,5–0,7	190–420
Южная тайга (мно- голесной район)	3–4	230–300	20–27	32–52	II–IV	змяг, бгбр, оскс	0,4–0,7	210–390
		45	8	10	IV	бгбр	0,6	50
	5–7	220–280	20–25	32–44	III–IV	змяг, бгбр, оскс	0,3–0,6	130–340
	8–10	245	23	36	III	бгбр	0,4	220
Южная тайга (лесо- дефицит- ный район)	3–4	160	19–22	26–32	IV	мя, мш	0,4–0,5	210–260
	5–7	160–170	19–22	26–32	IV	мя, мш	0,4–0,5	210–260

Примечание: сф – сфагновый, мш – мшистый, тб – травяно-болотный, рт – разнотравный, змяг – зелено-мошно-ягодный, бгбр – багульниково-брусничный, оскс – осоково-кустарничковый, мя – мшисто-ягодный

ного типа леса. Оптимальные полноты (0,5 и больше) имеют 100 % насаждений. Селекционная оценка их такова, что 33 % насаждений протаксированы как минусовые. Средний обобщенный балл урожайности составляет 1,8 с орехопродуктивностью в 104 кг/га.

В южной тайге на долю кедровников в составе орехово-промысловых зон в лесодефицитном районе приходится 100 %, а в многолесном районе – 99,5 %. На площади 0,5 % растут сосняки, которые представлены практически чистыми насаждениями возрастом

150 лет, V класса бонитета, полнотой 0,4–0,5, осоково-кустарничкового типа леса.

При этом в лесодефицитном районе насаждения кедра с долей участия 3–4 единицы в составе на 100 % представлены средневозрастными древостоями. Наиболее продуктивные классы бонитета (IV и выше) имеют все 100 % древостоев, которые входят в мшистый и мшисто-ягодный типы лесов. Оптимальные полноты (0,5 и больше) имеют 75 % насаждений. Средний обобщенный балл урожайности составляет 2,0 с орехопродуктивностью в 45

кг/га. Все эти насаждения входят в лесохозяйственный тип комплексного использования.

Насаждения кедр с долей участия 5–7 единиц в составе на 100 % представлены средневозрастными древостоями. При этом наиболее продуктивные классы бонитета (IV и выше) имеют 88 % древостоев, которые входят в мшистый тип леса, остальные 12 % низкбонитетных кедровников составляют сфагновый тип леса. Оптимальные полноты (0,5 и выше) имеют 75 % насаждений. Средний обобщенный балл урожайности составляет 1,6 с орехопродуктивностью в 67 кг/га. Основная часть (88 %) этих насаждений входит в лесохозяйственный тип комплексного использования, а 12 % – в особо защитный.

Насаждений с долей участия 8–10 единиц в составе не выявлено. Следует сказать, что большая часть припоселковых кедровников как раз расположена в южной тайге и они являются монопородными [8]. Чтобы нивелировать их влияние на результаты исследования, принято решение не брать их в рассмотрение, поскольку даже для южной тайги площадь припоселковых кедровников незначительна [7].

В многолесном районе южной тайги насаждения кедр с долей участия 3–4 единицы в составе на 5 % представлены молодняками, на 29 % – приспевающими древостоями, остальные 67 % кедровников являются спелыми и перестойными. При этом наиболее продуктивные классы бонитета (IV и выше) имеют все 100 % древостоев, которые входят в зеленомошно-ягодный, багульниково-брусничный и осоково-кустарничковый типы лесов. Оптимальные полноты (0,5 и больше) имеют 86 % насаждений.

Насаждения кедр с долей участия 5–7 единиц в составе на 2 % представлены средневозрастными и на 16 % приспевающими древостоями, остальные 82 % кедровников являются спелыми и перестойными. При этом наиболее продуктивные классы бонитета (IV и выше) имеют все 100 % древостоев, которые входят в зеленомошно-ягодный, багульниково-брусничный и осоково-кустарничковый типы лесов. Оптимальные полноты (0,5 и больше) имеют 69 % насаждений.

Насаждения кедр с долей участия 8–10 единиц в составе на 100 % представлены спелыми и перестойными древостоями. При этом наиболее продуктивные классы бонитета (IV и выше) имеют все 100 % древостоев, которые входят в багульниково-брусничный тип леса. Оптимальные полноты (0,5 и больше) имеют все 100 % насаждений.

Сравнивая полученные результаты с принятыми критериями можно отметить, что во всех изученных орехово-промысловых зонах:

- доля кедровников в общей площади участка составляет более 25 %, т. е. условие выполняется, поскольку в средней тайге этот показатель составляет 78 %, в южнотаежном лесодефицитном районе – 100 % и в южнотаежном многолесном районе – 99,5 %;

- доля насаждений кедр V–Va–б классов бонитета не превышает 50 % от площади кедровников, т. е. условие выполняется, поскольку в средней тайге этот показатель составляет 20 %, в южнотаежном лесодефицитном районе – 6 % и в южнотаежном многолесном районе таких кедровников не выявлено;

- количество кедровых насаждений с полнотой 0,3–0,4 не превышает 50 % от площади кедровников, т. е. условие выполняется, поскольку в средней тайге этот показатель составляет 10 %, в южнотаежном лесодефицитном районе – 25 % и в южнотаежном многолесном районе – 26 %;

- площадь кедровников, имеющих в составе менее 4 единиц кедр, не превышает 50 %, т. е. условие выполняется, поскольку в средней тайге этот показатель составляет 4 %, в южнотаежном лесодефицитном районе – 47 % и в южнотаежном многолесном районе – 30 %;

- площадь спелых и перестойных кедровников (более 240 лет) не превышает 50 %, т. е. условие не выполняется, поскольку в средней тайге этот показатель составляет 96 % и в южнотаежном многолесном районе – 77 %, но в южнотаежном лесодефицитном районе таких кедровников не выявлено;

- минимальная орехопродуктивность кедровников, пригодная для промышленного использования, принимается равной 50 кг/га,

т. е. условие выполняется, поскольку в средней тайге этот показатель составляет 78 кг/га и в южнотаежном лесодефицитном районе – 57 кг/га, в южнотаежном многолесном исследовании не проводилось.

Заключение

Орехово-промысловые зоны средней подзоны тайги имеют наибольшее участие некедровых элементов в своем составе. В южной тайге практически все насаждения являются кедровыми. Примерно такая же ситуация складывается с производительностью древостоев, а именно, среднетаежные орехово-промысловые зоны включают значительную долю низкобонитетных кедровников. В южнотаежных орехово-промысловых зонах таких насаждений либо не имеется, либо их площадь незначительна. В связи с этим рекомендуем в южной тайге повысить требование по производительности до III класса бонитета. Однако в них существенно выше участие низкополнотных кедровников по сравнению со среднетаежными орехово-промысловыми зонами. В какой-то степени это связано с тем, что в них значительная доля насаждений с минимальным участием кедра (3–4 ед.), которых практически нет в среднетаежных орехово-промысловых зонах. Это сказывается на урожайности, которая выше в средней тайге, а в южной находится на пределе экономической доступности. Практически все кедровники в средней тайге и в многолесных районах южной тайги являются перестойными, в лесодефицитных районах преобладают средневозрастные насаждения, которые, в общем-то, только начинают активно плодоносить.

Современное состояние орехово-промысловых зон показывает, что практически все насаждения кедра в средней тайге и в многолесных районах южной тайги находятся на завершающем этапе восстановительно-возрастной динамики и, учитывая их условно одновозрастную структуру, можно прогнозировать в ближайшее время постепенное (локальные ветровалы) или масштабное (повальные лесные пожары) их разрушение, что приведет к потере целевого статуса орехово-промысловой зоны.

Библиографический список

1. Адам, А.М. Методическое пособие по заготовкам дикоросов на территории Томской области / А.М. Адам и др. – Томск, 2006. – 44 с.
2. Бех, И.А. Сосна кедровая сибирская (Сибирское чудо-дерево) / И.А. Бех, А.М. Данченко, И.В. Кибиш. – Томск: ТГУ, 2004. – 160 с.
3. Бех, И.А. Экология орехопромысловых лесов, их использование и охрана / И.А. Бех // Проблемы региональной экологии. – Томск, 2000. – С. 96.
4. Волошина, Л.Е. Орехопромысловые леса Томской области и перспективы их использования / Л.Е. Волошина // Проблемы кедра. – 2003. – Вып. 7. – С. 21–25.
5. Воробьев, В.Н. Биологические основы комплексного использования кедровых лесов / В.Н. Воробьев. – Новосибирск: Наука, 1983. – 254 с.
6. Данченко, А.М. Кедровые леса Западной Сибири / А.М. Данченко, И.А. Бех. – Томск, 2010. – 424 с.
7. Дебков, Н.М. Припоселковые кедровники юга Западно-Сибирской равнины: история и современное состояние, рекомендации по устойчивому управлению (на примере Томской области) / Н.М. Дебков. – М.: Всемирный фонд дикой природы (WWF), 2014. – 52 с.
8. Дебков, Н.М. Состояние припоселковых кедровников юга Западной Сибири / Н.М. Дебков // Актуальные вопросы образования и науки: сб. научн. тр. по материалам международной научно-практической конференции. Ч. 8. – Тамбов: ТРОО «Бизнес–Наука–Общество», 2014. – С. 57–58.
9. Добровольский, В.К. Кедровые леса СССР и их использование / В.К. Добровольский. – М.: Лесная пром-сть, 1964. – 185 с.
10. Жуков, А.Б. Вопросы ведения хозяйства в кедровых лесах / А.Б. Жуков // Лесное хозяйство. – 1966. – № 7. – С. 25–28.
11. Залесов, С.В. Положение о ведении лесного хозяйства в кедровых лесах Ханты-Мансийского автономного округа-Югры / С.В. Залесов, Б.Е. Чижов. – Екатеринбург, 2012. – 71 с.
12. Ильичев, Ю.Н. К методам оценки орехопродуктивности и картографирования ресурсов кедрового ореха / Ю.Н. Ильичев // Лесная таксация и лесоустройство. – 2002. – Вып. 2(31). – С. 101–105.
13. Ипатов, Л.Ф. Кедр у дома и за околицей / Л.Ф. Ипатов. – Архангельск, 2006. – 103 с.
14. Ипатов, Л.Ф. Кедр на Севере / Л.Ф. Ипатов: Архангельск, 2011. – 412 с.
15. Крылов, Г.В. Научно-техническая конференция по комплексному использованию и воспроизводству кедровых лесов / Г.В. Крылов, Ю.П. Хлонов // Известия СО АН СССР. – 1959. – № 11. – С. 34–38.
16. Лесной кодекс РФ: Федеральный закон № 200 от 4 декабря 2006 г.
17. Мишуков, Н.П. Региональные особенности организации орехопромысла в Западной Сибири / Н.П. Мишуков // Использование и воспроизводство кедровых лесов. Новосибирск, 1971. – С. 106–110.
18. Некрасова, Т.П. Методы оценки и прогноза урожая семян кедра сибирского / Т.П. Некрасова. – Новосибирск: Наука, 1960. – 34 с.
19. О ведении лесного хозяйства в кедровых лесах: Приказ № 22 МЛХ СССР от 5 февраля 1990 г.

20. О дополнительном выделении в состав орехопромысловых зон кедровых насаждений государственного лесного фонда и об исключении земельных участков из состава орехопромысловых зон: Распоряжение № 975 р СМ СССР от 27 марта 1956 г.
21. О мерах по обеспечению рационального ведения лесного хозяйства в кедровых лесах: Распоряжение № 2281 СМ СССР от 30 декабря 1989 г.
22. О мерах по улучшению использования кедровых насаждений, развитию промыслов и увеличению заготовок кедровых орехов, пушнины, боровой дичи и дикорастущих ягод в таежных лесах Сибири, Дальнего Востока и Севера европейской части РСФСР: Постановление № 1177 СМ РСФСР от 26 октября 1957 г.
23. О мерах развития кедровых насаждений в Коми АССР: Постановление № 139 СМ Коми АССР от 29 апреля 1959 г.
24. О порядке предоставления в долгосрочное пользование участков для промышленной заготовки кедровых орехов в орехопромысловых зонах кедровых лесов: Постановление № 74 СМ СССР от 11 февраля 1980 г.
25. Об улучшении ведения хозяйства в кедровых лесах: Постановление № 181 СМ СССР от 22 февраля 1966 г.
26. Об установлении границ орехопромысловых зон в кедровых насаждениях Новосибирской области и Хабаровского края: Постановление № 219 СМ СССР от 5 марта 1954 г.
27. Об установлении границ орехопромысловых зон в кедровых насаждениях Свердловской и Тюменской областей: Постановление № 1281 СМ СССР от 11 августа 1954 г.
28. Об утверждении перечня лесодефицитных районов: Приказ № 24 Департамента лесного хозяйства Томской области от 28 декабря 2012 г.
29. Руководство по организации и ведению хозяйства в кедровых лесах (кедр сибирский). – М., 1990. – 121 с.
30. Хлатин, С.А. Хозяйство в кедровых лесах / С.А. Хлатин. – М., 1966. – 211 с.
31. Смолоногов, Е.П. Эколого-лесоводственные основы организации и ведения хозяйства в кедровых лесах Урала и Западно-Сибирской равнины / Е.П. Смолоногов, С.В. Залесов. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 186 с.
32. Залесов, С.В. Кедровники Югры – вчера, сегодня, завтра / С.В. Залесов, Б.Е. Чижов, Е.В. Титов, Е.П. Платонов и др. – Ханты-Мансийск, 2012. – 178 с.

NUT-BUSINESS ZONES AND THEIR UP-TO-DATE STATE (ON THE EXAMPLE OF THE TOMSK REGION)

Debkov N.M., NRTSU, Ph. D (Agricultural)⁽²⁾; **Zalesov S.V.**, Prof. USFEU, Dr. Sci. (Agricultural)⁽²⁾; **Opletaev A.S.**, Assoc. Prof. USFEU, Ph. D. (Agricultural)⁽²⁾.

zalesov@usfeu.ru

⁽¹⁾ National research Tomsk State University (NRTSU), Lenina ave., 36, Tomsk, 634050, Russia;

⁽²⁾ Ural state forest engineering university (USFEU), Sibirskiy tr. Str., 37, Ekaterinburg, 620100, Russia

The paper deals with the history and up-to-date state of pine nut-business zones in the Russian Federation. It is noted that the singling out of the latter has not always led to positive results. Quite often the territories of pine nut zones included those uncovered with trees, marshes, some other species forming the stands and low productive stands. Nut-business zones of middle taiga mostly do not have pine elements in its composition. In the southern taiga almost all plantations are pine ones. The situation with productivity of forest stands is approximately the same, and namely taiga nut-business zones comprise a significant share of low-productive pine stands. The analysis of up-to-date state of pine nut business zones in Tomsk region has shown that the share of cembretum on the total square; the share of Siberian stone pine of V-V a, b productivity classes; the share of plantations with Siberian stone pine inclusion constituting less than 4 units in stands composition; the square of mature and over mature cedar stands as well as the lowest pine not productivity meet the requirements for pine nut business zones singling out. Meanwhile the up-to-date state of pine nut business zone stands analysis testifies to the fact that practically all the cedar stone pine plantations in the middle taiga in multiforested regions as well as in the south taiga undergo the concluding stage of restorative-aged dynamics. Taking into account their conditionally even-aged structure it is possible to forecast their sanitary state worsening, gradual local windfalls or large scale, spacious forest fires that can cause their destruction in the nearest future. This will result in loss of their special status as a pine nutbusiness zone. At other words, pine nut business zone plantations require a practical scientifically – based recommendations working out for stands rejuvenation, their stability and pine nut productivity improvement.

Keywords: siberian stone pine, cembretum, nut-business zone, stability, age, age structure, nut productivity.

Reference

1. Adam A.M. *Metodicheskoe posobie po zagotovkam dikorosov na territorii Tomskoy oblasti* [Toolkit for the procurement of wild plants in Tomsk Region], Tomsk, 2006, 44 p.
2. Bekh I.A., Danchenko A.M., Kibish I.V. *Sosna kedrovaya sibirskaya (Sibirskoe chudo-derevo)* [Siberian stone pine (Siberian miracle tree)], Tomsk: TGU, 2004, 160 p.
3. Bekh I.A. *Ekologiya orekhopromyslovykh lesov, ikh ispol'zovanie i okhrana* [Ecology kernel production forests, their use and protection]. *Problemy regional'noy ekologii* [Problems of regional ecology], Tomsk, 2000, pp. 96.
4. Voloshina L.E. *Orekhopromyslovye lesa Tomskoy oblasti i perspektivy ikh ispol'zovaniya* [Kernel production forests of the Tomsk region and the prospects for their use]. *Problemy kedra* [Problems of cedar], Vol. 7, 2003, pp. 21-25.
5. Vorob'ev V.N. *Biologicheskie osnovy kompleksnogo ispol'zovaniya kedrovyykh lesov* [Biological basis of complex use of pine forests], Novosibirsk: Nauka, 1983, 254 p.
6. Danchenko A.M., Bekh I.A. *Kedrovye lesa Zapadnoy Sibiri* [Cedar forests of Western Siberia], Tomsk, 2010, 424 p.
7. Debkov N.M. *Priposelkovyye kedrovniki yuga Zapadno-Sibirskoy ravniny: istoriya i sovremennoe sostoyanie, rekomendatsii po ustoychivomu upravleniyu (na primere Tomskoy oblasti)* [Near the township cedar south of the West Siberian Plain: history and

- current status, for the sustainable management recommendations (on an example of Tomsk region)], Moscow: World Wildlife Fund (WWF), 2014, 52 p.
8. Debkov N.M. *Sostoyanie priposelkovykh kedrovnikov yuga Zapadnoy Sibiri* [Priposelkovye cedar south of the West Siberian Plain: history and current status, for the sustainable management recommendations (on an example of Tomsk area)]. Aktual'nye voprosy obrazovaniya i nauki: sbornik nauchnykh trudov po materialam mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Ch. 8 [Actual problems of Education and Science: Proceedings of the international scientific-practical conference. Part. 8]. Tambov: TROO «Biznes–Nauka–Obschestvo», 2014. pp. 57-58.
 9. Dobrovolskiy V.K. *Kedrovye lesa SSSR i ikh ispol'zovanie* [Pine forests of the USSR and their use], Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1964, 185 p.
 10. Zhukov A.B. *Voprosy vedeniya khozyaystva v kedrovyykh lesakh* [Questions of economic activity in the pine forests], Lesnoe khozyaystvo [Forestry], 1966, № 7, pp. 25-28.
 11. Zalesov S.V., Chizhov B.E. *Polozhenie o vedenii lesnogo khozyaystva v kedrovyykh lesakh Khanty-Mansiyskogo avtonomnogo okruga-Yugry* [Regulation on forest management in the pine forests of the Khanty-Mansiysk Autonomous Okrug-Ugra], Ekaterinburg, 2012, 71 p.
 12. Il'ichev Yu.N. *K metodam otsenki orekhoproduktivnosti i kartografirovaniya resursov kedrovogo orekha* [The methods of evaluation and mapping resources orehoproduktivnosti pine nuts]. Lesnaya taksatsiya i lesoustroystvo [Forest inventory and forest management], 2002, Vol. 2 (31), pp. 101-105.
 13. Ipatov L.F. *Kedr u doma i za okolitsey* [Cedar at home and on the outskirts]. Arkhangel'sk, 2006, 103 p.
 14. Ipatov L.F. *Kedr na Severe* [Cedar in the North], Arkhangel'sk, 2011, 412 p.
 15. Krylov G.V., Khlonov Yu.P. *Nauchno-tehnicheskaya konferentsiya po kompleksnomu ispol'zovaniyu i vosproizvodstvu kedrovyykh lesov* [Scientific-Technical Conference on integrated use and reproduction of pine forests], Izvestiya SO AN SSSR [Proceedings of the Academy of Sciences of the USSR], 1959, № 11, pp. 34-38.
 16. *Lesnoy kodeks RF: Federal'nyy zakon № 200 ot 4 dekabrya 2006 g.* [The Forest Code of the Russian Federation: Federal Law № 200 of December 4, 2006].
 17. Mishukov N.P. *Regional'nye osobennosti organizatsii orekhopromysla v Zapadnoy Sibiri* [Regional features of the organization orehopromysla in Western Siberia]. Ispol'zovanie i vosproizvodstvo kedrovyykh lesov [The use and reproduction of pine forests]. Novosibirsk, 1971. pp. 106-110.
 18. Nekrasova, T.P. *Metody otsenki i prognoza urozhayev semyan kedra sibirskogo* [Methods of assessment and prediction of seed crops of Siberian cedar]. Novosibirsk: Nauka, 1960. 34 p.
 19. *O vedenii lesnogo khozyaystva v kedrovyykh lesakh: Prikaz № 22 MLKh SSSR ot 5 fevralya 1990 g.* [Forest management in the forests of cedar: Order number 22 MLH USSR from February 5, 1990].
 20. *O dopolnitel'nom vydelenii v sostav orekhopromyslovykh zon kedrovyykh nasazhdeniy gosudarstvennogo lesnogo fonda i ob isklyuchenii zemel'nykh uchastkov iz sostava orekhopromyslovykh zon: Rasporyazhenie № 975p SM SSSR ot 27 marta 1956 g.* [On the additional allocation in the kernel production zone of pine forests of the state forest fund and the exclusion of land from the kernel production zones: Decree № 975r of the USSR on March 27, 1956].
 21. *O merakh po obespecheniyu ratsional'nogo vedeniya lesnogo khozyaystva v kedrovyykh lesakh: Rasporyazhenie № 2281 SM SSSR ot 30 dekabrya 1989 g.* [On measures to ensure sustainable forest management in the pine forests: Order number 2281 of the USSR from December 30, 1989].
 22. *O merakh po uluchsheniyu ispol'zovaniya kedrovyykh nasazhdeniy, razvitiyu promyslov i uvelicheniyu zagotovok kedrovyykh orekhov, pushniny, borovoy dichi i dikorastushchikh yagod v taezhnykh lesakh Sibiri, Dal'nego Vostoka i Severa evropeyskoy chasti RSFSR: Postanovlenie № 1177 SM RSFSR ot 26 oktyabrya 1957 g.* [On measures to improve the use of pine plantations and the development of trades and increase billet pine nuts, furs, upland game and wild berries in the taiga forests of Siberia, the Far East and the North of the European part of the RSFSR: Resolution number 1177 CM RSFSR of October 26, 1957].
 23. *O merakh razvitiya kedrovyykh nasazhdeniy v Komi ASSR: Postanovlenie № 139 SM Komi ASSR ot 29 aprelya 1959 g.* [On the measures of pine forests in the Komi Republic: Decree number 139 CM Komi Republic from April 29, 1959].
 24. *O poryadke predostavleniya v dolgosrochnoe pol'zovanie uchastkov dlya promyslovoy zagotovki kedrovyykh orekhov v orekhopromyslovykh zonakh kedrovyykh lesov: Postanovlenie № 74 SM SSSR ot 11 fevralya 1980 g.* [On the order of long-term use of land for commercial harvesting of pine nuts in kernel production zones of pine forests: Decree number 74 of the USSR from February 11, 1980].
 25. *Ob uluchshenii vedeniya khozyaystva v kedrovyykh lesakh: Postanovlenie № 181 SM SSSR ot 22 fevralya 1966 g.* [On the improvement of economic activity in the pine forests: Decree № 181 of the USSR from February 22, 1966].
 26. *Ob ustanovlenii granits orekhopromyslovykh zon v kedrovyykh nasazhdeniyakh Novosibirskoy oblasti i Khabarovskogo kraya: Postanovlenie № 219 SM SSSR ot 5 marta 1954 g.* [On the establishment of the kernel production zone boundaries in the pine plantations of Novosibirsk Region and Khabarovsk Territory: Decree № 219 of the USSR on March 5, 1954].
 27. *Ob ustanovlenii granits orekhopromyslovykh zon v kedrovyykh nasazhdeniyakh Sverdlovskoy i Tyumenskoy oblastey: Postanovlenie № 1281 SM SSSR ot 11 avgusta 1954 g.* [On establishing the borders of the kernel production zone in pine plantations Sverdlovsk and Tyumen regions: Resolution № 1281 of the USSR on August 11, 1954].
 28. *Ob utverzhdenii perechnya lesodefitsitnykh rayonov: Prikaz № 24 Departamenta lesnogo khozyaystva Tomskoy oblasti ot 28 dekabrya 2012 g.* [On approval of the list of areas lesodefitsitnyh: Order number 24 of the Forestry Department of the Tomsk region on December 28, 2012].
 29. *Rukovodstvo po organizatsii i vedeniyu khozyaystva v kedrovyykh lesakh (kedr sibirskiy)* [Guidelines for the organization and management of the economy in the cedar forests (Siberian cedar)], Moscow, 1990, 121 p.
 30. Khlatin S.A. *Khozyaystvo v kedrovyykh lesakh* [The farm in the pine woods]. Moscow: 1966 211 p.
 31. Smolonogov E.P., Zalesov S.V. *Ekologo-lesovodstvennye osnovy organizatsii i vedeniya khozyaystva v kedrovyykh lesakh Urala i Zapadno-Sibirskoy ravniny* [Ecological and silvicultural bases of the organization and management of the economy in the pine forests of the Urals and West Siberian Plain], Ekaterinburg: Ural. state. Forestry Engineering University Press, 2002, 186 p.
 32. Zalesov S.V., Chizhov B.E., Titov E.V., Platonov E.P. i dr. *Kedrovniki Yugry – vchera, segodnya, zavtra* [Pine forests of Ugra - yesterday, today and tomorrow], Khanty-Mansiysk, 2012, 178 p.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДРЕВЕСНО-КУСТАРНИКОВОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ НА СКЛОНАХ

Р.Ф. МУСТАФИН, доц. БГАУ, канд. с-х. наук⁽¹⁾,
А.А. АРСЛАНОВ, асп. БГАУ⁽¹⁾

azat-arсланov@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Башкирский государственный аграрный университет»
450001, Республика Башкортостан, г. Уфа, ул. 50-летия Октября, 34

На территории Российской Федерации горные леса (леса, произрастающие на горных склонах) составляют около 40 % покрытой лесной растительностью площади. Эти леса выполняют важнейшую экологическую функцию: регулируют сток воды, защищают почвы от эрозии, регулируют ветровой режим, препятствуют движению сверху вниз холодных масс воздуха, предотвращают сели, снежные лавины, оползни, изменяют циркуляцию атмосферного воздуха. Важная роль горных лесов вызывает необходимость разработки специальных систем лесоводственных мероприятий, обеспечивающих недопущение снижения их устойчивости и формирование насаждений, исключающих эрозию почвы. Корневая система древесно-кустарниковых пород традиционно и общепринято считается одним из действующих факторов укрепления склонов, однако углубленным изучением специфики данной функции корней посвящено лишь незначительное количество научных и практических изысканий. В связи с этим разработка методов расчета и их последующее внедрение в производство проектных, изыскательных и строительных работ, опираясь на опыт существующих методик и расчетов, предоставит обоснованную и необходимую научную информацию широкому кругу заинтересованных лиц и организаций. Сопrotивляемость корней учитывается путем искусственного увеличения удельного сцепления грунта в верхнем пронизанном корнями слое (толщиной $2\pm 0,5$ м). Величина его устанавливается по результатам обследования растительности на склоне.

Ключевые слова: склон, древесно-кустарниковая растительность, расчет, удельное сцепление.

Обеспечение устойчивости склонов и откосов является одной из наиболее типичных задач, с которыми сталкивается специалист по природообустройству, ведущий работы в условиях сложного рельефа. Несмотря на то, что проблема устойчивости откосов изучается со времен Ш. Кулона (1773), существующие методы расчетов в этой области пока имеют довольно ограниченные возможности и плохо приспособлены к учету многих факторов. Влияние некоторых из таких факторов плохо поддается схематизации и зачастую оценивается лишь интуитивно, на основе накопленного инженерного опыта. В наибольшей мере это относится к учету древесно-кустарниковой растительности на изучаемых склонах, хотя сама способность растущих на склонах деревьев и кустарника снижать опасность оползней является хорошо известным фактом [2, 3]. Практически во всех регионах нашей страны можно найти примеры, когда уничтожение растительности приводило к обрушению склонов, которые до этого многие десятилетия сохраняли устойчивость. Напротив, наличие растительности в ряде случаев удерживало от обрушения склоны, которые по всем расчетам должны были бы обрушиться. В нормах по инженер-

ной защите территорий СП 116.13330.2012 [1] агролесомелиорация рассматривается как одно из важнейших противооползневых мероприятий. Аналогичное отношение к растительности на склонах характерно и для зарубежных норм. Тем не менее, ни в нашей стране, ни за рубежом никаких *количественных критериев* для оценки влияния древесно-кустарниковой растительности не установлено. По этой причине и в отечественных, и в зарубежных нормах наличие или отсутствие древесной растительности при расчетах устойчивости склонов вообще не учитывается. Посадка деревьев на склонах обычно рассматривается как мероприятие, обеспечивающее дополнительный «запас устойчивости» этих склонов без какой-либо количественной оценки этого «запаса». Тем не менее, исследования данного вопроса, проводившиеся в Башкирском государственном аграрном университете (БГАУ) совместно с институтом БашНИИстрой, показали, что количественный учет растительности при оценке устойчивости склонов представляется вполне разрешимой задачей.

Настоящие рекомендации являются обобщением упомянутых результатов исследований. В них излагаются методы количес-

Типичные отношения объема корневой системы к объему ствола дерева, % [7]

Typical root volume connection to the volume of a tree trunk,% [7]

Средний диаметр стволов деревьев на рассматриваемом участке, м	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
$V_{\text{корн}} / V_{\text{ств}}^*$, %	30	20	15	10	7

* – $V_{\text{корн}} / V_{\text{ств}}$ – отношение объема корней дерева к объему его ствола, %

твенного учета древесно-кустарниковой растительности, которые можно использовать при существующем уровне проектно-изыскательских работ (т. е. при существующем изыскательском оборудовании, существующих методах расчета, применяемых программных комплексах и т. д.).

Основные предпосылки оценки устойчивости склонов, покрытых растительностью [2, 3]

Устойчивость склонов, на которых растут деревья или кустарники, повышается по следующим причинам:

- растительность препятствует размыву поверхности склона в период снеготаяния, обеспечивает равномерное перемещение талых вод, равномерное впитывание их в грунт;
- стволы деревьев способны удерживать сползающие массы грунта при покровных оползнях небольшой глубины (до 1,5–2 м);
- корневая система деревьев способна оказывать армирующее действие на оползневый склон.

Армирующее действие корней деревьев определяется строением их корневой системы, которая (в зависимости от породы деревьев и почвенно-грунтовых условий) распространяется в большинстве случаев на глубину 1,5–2,0 м, но в плане охватывает большую площадь, в 3–4 раза превосходящую площадь кроны.

Наличие корневой системы обуславливает формирования грунтово-корневого слоя («тюфяка») толщиной 1,5–2 м, покрывающего поверхность склона, его гребень и нижнюю часть (подножье или «подошву»). Поверхность скольжения должна в

общем случае перерезать грунтово-коревой слой в двух местах: на гребне и у подножья склона.

Корневая система древесно-кустарниковой растительности при оползневых процессах создает дополнительную удерживающую силу, величина которой определяется насыщенностью корнями верхних 1,5–2 м (грунтово-корневого слоя). Эту насыщенность (и соответственно сопротивляемость сдвигающим нагрузкам) можно приближенно оценивать по результатам обследования надземной части растительности на склоне [5, 6].

Дополнительная информация, получаемая при инженерных изысканиях

Для выполнения расчетов устойчивости склонов, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, в процессе инженерных изысканий должна быть получена следующая дополнительная информация:

- наличие деревьев или кустарника в зоне гребня и в нижней части оползневого склона;
- густота стволов деревьев в зоне предполагаемого оползня: среднее количество деревьев на 1000 м²;
- средний диаметр деревьев в зоне предполагаемого оползня;
- преобладающая порода деревьев в зоне предполагаемого оползня.

Для приближенной оценки объема корневой системы по объему надземной части дерева (в условиях отсутствия более точных сведений о конкретных лесных угодьях) рекомендуется пользоваться табл. 1.

При сборе сведений о ранее происходивших оползнях в данной местности следует по возможности точно выяснять, какая

Степень насыщения корнями грунтово-корневого слоя $K_{оп}$
(доля объема корней в процентах в общем объеме слоя)
The degree of root saturation of the soil and root layer
(fraction of the volume of roots in percent in the total volume of the layer)

Средний диаметр стволов деревьев, м	Доля объема корней в общем объеме грунтово-корневого слоя в процентах (%), при среднем расстоянии между деревьями, м				
	2	3	4	5	6
0,1	0,3	0,13	0,07	0,05	0,03
0,2	1,2	0,42	0,24	0,15	0,10
0,3	—	0,87	0,48	0,31	0,22
0,4	—	1,25	0,70	0,45	0,31
0,5	—	—	0,85	0,55	0,38

Примечание: «—» соответствует маловероятным сочетаниям

Приращение удельного сцепления для толщины грунтово-корневого слоя 2 м
The increment of the specific adhesion to the thickness of the soil and root layer of 2 m

Степень насыщенности слоя корнями, %	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,50	1,00
$c_{доп.}, кПа$	3,5	7,0	10,2	14,0	17,5	35,0	70,0

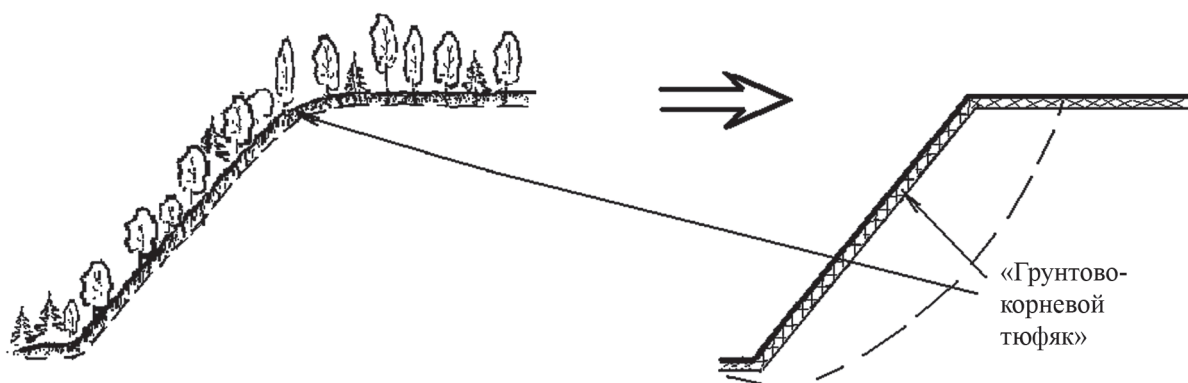


Рис. 1. Схема расположения «грунтово-корневого тюфяка»
 Fig. 1. Scheme of arrangement of the «soil-root mattress»

растительность была на склонах в момент оползня.

Методика расчета устойчивости склона с учетом древесно-кустарниковой растительности

Армирующее действие корневой системы древесно-кустарниковой растительности рекомендуется учитывать путем фиктивного увеличения прочности грунта верхнего «грунтово-корневого слоя» («грунтово-корневого тюфяка»), покрывающего склон (рисунок). Этот слой следует рассматривать

как отдельный инженерно-геологический элемент ИГЭ (или расчетно-грунтовой элемент РГЭ).

Толщину грунтово-корневого слоя рекомендуется принимать равной $2,0 \pm 0,5$ м. В случае преобладания пород деревьев с неглубоким проникновением корней (береза, липа, пихта, ель обыкновенная и др.) рекомендуется принимать минимальную толщину такого слоя (1,5 м), при преобладании пород с глубокими корнями (дуб, сосна обыкновенная, ель сибирская и др.) – максимальную толщину (2,5 м).

**Распределение фитомассы частей деревьев
в сосново-дубовых и елово-пихтовых насаждениях**
Distribution of the biomass of parts of trees in pine-oak and spruce-fir plantations

Возраст, лет	Порода	Число деревьев на 1000 м ²	Средние показатели		Всего фитомассы в сухом виде, т / 1000 м ²	В том числе на 1000 м ²	
			Диаметр ствола, см	Высота, м		стволов, т / %	корней, т / %
6	дуб	502	1,7	0,93	0,091	<u>0,023</u> 25,3	<u>0,040</u> 43,9
	сосна	428	4,1	1,98	0,094	<u>0,26</u> 27,7	<u>0,08</u> 8,5
	Всего	930			0,103	<u>0,28</u> 27,2	<u>0,120</u> 11,7
13	дуб	404	4,7	5,2	1,26	<u>0,61</u> 48,6	<u>0,46</u> 36,6
	сосна	340	8,9	7,95	5,03	<u>3,04</u> 60,4	<u>0,75</u> 15,0
	Всего	744			6,29	<u>3,65</u> 58,0	<u>1,22</u> 19,4
90	дуб	2	31,1	25,0	5,29	<u>3,87</u> 73,2	<u>0,74</u> 13,9
	сосна	22	42,3	28,4	28,4	<u>22,07</u> 77,7	<u>3,68</u> 13,0
	Всего	24			33,69	<u>25,94</u> 77,0	<u>4,43</u> 13,1
18	ель	82	6,5	5,3	0,48	<u>0,19</u> 39,6	<u>0,08</u> 16,7
	пихта	482	6,5	5,4	3,28	<u>1,58</u> 48,2	<u>0,48</u> 14,6
	Всего	564			3,76	<u>1,77</u> 47,1	<u>0,75</u> 15,0

Т а б л и ц а 5

**Средний уровень насыщенности корнями грунтово-корневого слоя
в сосновых насаждениях (на 1000 м²)**

The average level of root saturation of the soil and root layer of pine plantations (per 1000 м²)

Возраст, годы	Число деревьев, шт.	Среднее расстояние между деревьями, м	Суммарный объем корней, м ³	Содержание (объемное) корней в верхнем слое грунта толщиной 2,5 м, %
14	442	1,5	1,92	0,07
23	285	1,9	2,12	0,085
41	148	2,6	2,68	0,107
90	22	6,8	6,82	0,272

Т а б л и ц а 6

**Средний уровень насыщенности корнями грунтово-корневого слоя
в сосново-дубовых насаждениях (на 1000 м²)**

The average level of root saturation of the soil and root layer in pine-oak plantations (per 1000 м²)

Возраст, годы	Число деревьев, шт.	Среднее расстояние между деревьями, м	Суммарный объем корней, м ³	Содержание (объемное) корней в верхнем слое грунта толщиной 2,5 м, %
6	930	1,0	0,15	0,006
13	744	1,2	1,52	0,061
90	24	6,4	5,53	0,221

**Средний уровень насыщенности корнями грунтово-корневого слоя
в елово-пихтовых насаждениях (на 1000 м²)**

The average level of root saturation of the soil and root layer in spruce-fir plantations (per 1000 m²)

Возраст, годы	Число деревьев, шт.	Среднее расстояние между деревьями, м	Суммарный объем корней, м ³	Содержание (объемное) корней в верхнем слое грунта толщиной 2,5 м, %
18	564	1,3	0,94	0,038

**Дополнительные удерживающие силы $P_{уд}$ в грунтово-корневом слое
(наиболее типичные случаи) [9]**

Additional retaining forces $P_{уд}$ in the soil and root layer (the most typical cases) [9]

Толщина грунтово-корневого слоя, м	Степень насыщенности грунтово-корневого слоя корнями %	Площадь пересечения корней с поверхностью скольжения, см ²			Дополнительная удерживающая сила, кН		
		$\beta = 0$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 60^\circ$	$\beta = 0$	$\beta = 45^\circ$	$\beta = 60^\circ$
1,5	0,05	7,5	10,5	15,0	5,2	7,4	10,4
	0,1	15,0	21,2	30,0	10,2	14,3	20,4
	0,15	22,5	31,7	45,0	15,8	22,0	31,6
	0,20	30,0	42,3	60,0	21,0	29,4	42,0
	0,25	37,5	52,9	75,0	26,2	36,8	52,4
2	0,05	10,0	14,0	20,0	7,0	9,8	14,0
	0,1	20,0	20,0	40,0	14,0	19,6	28,0
	0,15	30,0	30,0	60,0	21,0	29,4	42,0
	0,20	40,0	39,0	80,0	28,0	39,2	56,0
	0,25	50,0	49,0	100,0	35,0	49,0	70,0
2,5	0,05	12,5	17,6	25,0	8,8	12,4	17,6
	0,1	25,0	35,2	50,0	17,5	24,6	35,0
	0,15	37,5	52,8	75,0	26,5	37,4	53,0
	0,20	50,0	70,5	100,0	35,0	49,3	70,0
	0,25	62,5	88,1	124,0	43,7	61	87,4
3	0,05	15,0	21,0	30,0	10,2	14,8	20,8
	0,1	30,0	42,4	60,0	20,4	28,6	40,8
	0,15	44,0	63,4	90,0	31,6	44,0	63,2
	0,20	60,0	84,6	120,0	42,0	58,8	84,0
	0,25	72,0	105,8	150,0	52,4	73,6	104,8

Увеличение его прочности (по сравнению с грунтом, не содержащем корней) обеспечивается принятием повышенных значений удельного сцепления грунта «с» в зависимости от K – степени насыщенности корнями этого слоя.

Степень насыщенности грунтово-корневого слоя корнями K определяется в зависимости от результатов обследования

надземной части растительности по таблицам приложения. Для наиболее типичных случаев (при толщине грунтово-корневого слоя 2 м) при невозможности получения более точных сведений допустимо пользоваться табл. 2.

Расчетное значение степени насыщенности корнями грунтово-корневого слоя K следует определяться по формуле

$$K = K_{\text{оп}} / \gamma_t$$

где $K_{\text{оп}}$ – степень насыщения грунта корнями, определенная путем визуальной оценки склона в момент изысканий с использованием при необходимости вспомогательных таблиц (табл. 2),

γ_t – коэффициент надежности, учитывающий неравномерность размещения деревьев, определяющаяся по среднему возрасту древесной растительности: при возрасте до 30 лет $\gamma_t = 1,0$; 60 лет – $\gamma_t = 1,2$; более 60 лет – $\gamma_t = 1,4$.

Для промежуточных значений следует пользоваться интерполяцией.

В расчетах устойчивости склона удельное сцепление (в пределах грунтово-корневого слоя) принимается в виде эквивалентной величины c_{z-k}

$$c_{z-k} = c_{\text{станд}} + c_{\text{доп}}$$

где $c_{\text{станд}}$ – удельное сцепление, определенное стандартным методом при инженерно-геологических изысканиях (без учета корней);

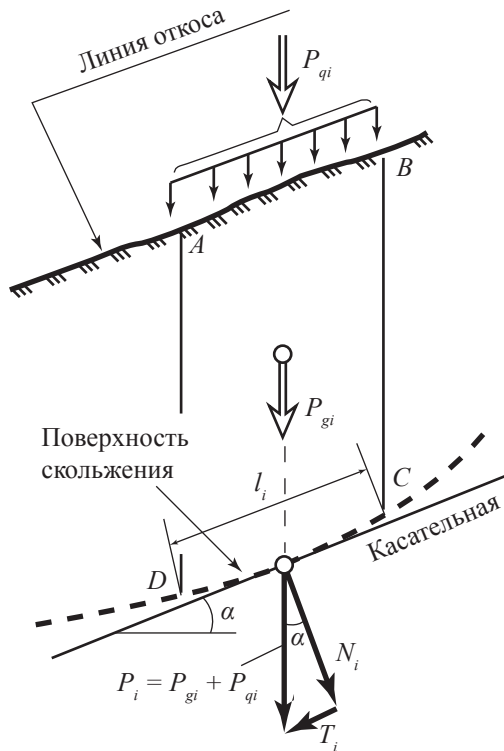


Рис. 2. Схема действующих сил в пределах каждого блока: P_g – собственный вес грунта, P_q – внешняя нагрузка

Fig. 2. The scheme of forces within each unit: P_g – weight of soil, P_q – external load

$c_{\text{доп}}$ – дополнительная часть удельного сцепления, определяемая в зависимости от установленной степени насыщенности корнями [8].

Оценка устойчивости склона с древесно-кустарниковой растительностью может производиться любым традиционным методом расчета (теории предельного равновесия, круглоцилиндрических поверхностей, ломаных поверхностей и т. д.) без каких-либо изменений методики (алгоритма) таких расчетов, так как армирующее действие корней отражается лишь на вводимых исходных данных.

При установленном значении удерживающей силы $P_{y\partial}$ дополнительная часть удельного сцепления определяется по формуле

$$c_{\text{доп}} = P_{y\partial} / l_i$$

где $P_{y\partial}$ – удерживающая сила, образующаяся в грунтово-корневом слое (в i -м блоке), l_i – длина основания рассматриваемого блока (рисунок).

Библиографический список

1. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП-22-02-2003.
2. Калинин, М.И. Формирование корневой системы деревьев / М.И. Калинин. – М.: Лесная пром-сть, 1983. – 152 с.
3. Калинин, М.И. Корневедение / М.И. Калинин. – М.: Экология, 1991. – 173 с.
4. Рыжков, И.Б. О количественном учете древесно-кустарниковой растительности при расчетах устойчивости склонов / И.Б. Рыжков, А.А. Арсланов, Р.Ф. Мустафин // Основания, фундаменты и механика грунтов. – Москва, 2015. – С. 21–25.
5. Рыжков, И.Б. Влияние корневой системы древесной растительности на устойчивость склонов / И.Б. Рыжков, Р.Ф. Мустафин, А.А. Арсланов // Вестник МГСУ. – Т. 1. – 2011.
6. Рыжков, И.Б. Исследование влияния корневой системы древесной растительности на устойчивость склонов / И.Б. Рыжков, Р.Ф. Мустафин, А.А. Арсланов // Вестник БГАУ, 2011. – № 1(17).
7. Арсланов, А.А. Оценка степени насыщенности грунтово-корневого тьюфика корнями / А.А. Арсланов, И.Б. Рыжков, Р.Ф. Мустафин // Вестник РАСХН, 2012.
8. Арсланов, А.А. Рекомендации по учету древесно-кустарниковой растительности при расчетах устойчивости склонов / А.А. Арсланов, Р.Ф. Мустафин // Вестник СГАСУ, 2013.
9. Арсланов, А.А. Пространственное взаимопроникновение корневых систем / А.А. Арсланов, Р.Ф. Мустафин // Научно-практическая конференция, посвященная 100-летию со дня рождения С.Ф. Аверьянова. – М.: Природобустройство, 2013.

EFFICIENCY OF THE WOOD AND SHRUBBY VEGETATION ON SLOPES

Mustafin R.F., Assoc. Prof. BGAU, Ph. D. (Agricultural) ⁽¹⁾; Arslanov A.A., pg. BGAU⁽¹⁾

azat-arslanov@mail.ru

⁽¹⁾ Bashkir State Agrarian University, 50-letiya Oktyabrya St., 34, Ufa, Republic of Bashkortostan, 450001

Mountain forests (i.e. forests growing on mountain slopes) on the territory of the Russian Federation constitute about 40 percent of the area covered with forest vegetation. These forests fulfill an essential ecological function: they regulate water runoff, prevent soil erosion, control wind regime, obstruct cold air mass moving from the bottom upwards, preclude mudslides, snow avalanches, landslides, change atmospheric circulation. The key role of mountain forests calls for the development of special systems of silvicultural measures providing for prevention of the decline in their sustainability, and planting trees, which eliminates the risk of soil erosion. Although it is generally accepted that the root system of tree and shrub species is one of the operative factors of slope stabilization, only a small number of scientific and empirical research works are devoted to a profound study of the above mentioned root function. In this respect the development of calculation methods and their subsequent introduction into the execution of project-oriented, exploratory and construction work, drawing on the expertise of the existing methods and calculations will provide valid and necessary information to a wide range of individuals and entities. Root resistance power is taken into account by the artificial increase of the specific soil adhesion in the upper layer of the ground penetrated by roots ($2\pm 0,5$ m in thickness). The range of the increase is defined upon results of vegetation inspection on the slope.

Keywords: slope, tree and shrub vegetation, calculation, specific soil cohesion.

Reference

1. *Inzhenernaya zashchita territoriy, zdaniy i sooruzheniy ot opasnykh geologicheskikh protsessov. Osnovnye polozheniya. Aktualizirovannaya redaktsiya SNIIP-22-02-2003* [Engineering protection of territories, buildings and structures from hazardous geological phenomena. Fundamental principles. Revised edition. Construction Norms & Regulations-22-02-2003].
2. Kalinin M.I. *Formirovanie kornevoy sistemy derev'ev* [Shaping of the tree root system]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1983, pp. 152.
3. Kalinin M.I. *Kornevedenie* [Root study], Moscow: Ecology, 1991, pp. 173.
4. Ryzhkov I.B., Arslanov A.A., Mustafin R.F. *O kolichestvennom uchete drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti pri raschetakh ustoychivosti sklonov* [On quantitative accounting of tree and shrub vegetation when calculating slope stability]. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Basis, Foundation and Slope Engineering' magazine], Moscow, 2015, pp. 21-25
5. Ryzhkov I.B., Mustafin R.F., Arslanov A.A. *Vliyaniye kornevoy sistemy drevesnoy rastitel'nosti na ustoychivost' sklonov*, T. 1 [The influence of tree root system on slope stability]. *Vestnik MGSU* [Proceedings of Moscow State University of Civil Engineering, V. 1], Moscow, 2011.
6. Ryzhkov I.B., Mustafin R.F., Arslanov A.A. *Issledovanie vliyaniya kornevoy sistemy drevesnoy rastitel'nosti na ustoychivost' sklonov* [The study of the influence of tree root system on slope stability], *Vestnik BGAU* [Proceedings of Bashkir State Agrarian University], V. 1(17), Ufa, 2011.
7. Ryzhkov I.B., Mustafin R.F., Arslanov A.A. *Otsenka stepeni nasyshchennosti gruntovo-kornevogo tyufyaka kornyami* [The evaluation of root saturation degree of ground and root bed]. *Vestnik RASKHN* [Proceedings of the Russian Academy of Agricultural Sciences], Moscow, 2012.
8. Arslanov A.A., Mustafin R.F. *Rekomendatsii po uchetu drevesno-kustarnikovoy rastitel'nosti pri raschetakh ustoychivosti sklonov* [Guidelines on accounting tree and shrub vegetation when calculating slope stability]. *Vestnik SGASU* [Proceedings of Samara State University Of Architecture And Civil Engineering], Samara, 2013.
9. Arslanov A.A., Mustafin R.F. *Prostranstvennoye vzaimoproniknoveniye kornevykh sistem* [Extensional interpenetration of root systems], *Nauchno-prakticheskaya konferentsiya, posvyashchennaya 100-letiyu so dnya rozhdeniya S.F. Aver'yanova* [Research and practice conference marking the centenary of the birth of Aver'yanov S.F.], Moscow: Prirodoobustroystvo [Environmental Engineering], 2013.

РОЛЬ ТИПОВ ЛЕСА В СМЕНЕ ПОРОД НА СТАРОПАХОТНЫХ ЗЕМЛЯХ КЕНОЗЕРСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА

П.А. ФЕКЛИСТОВ, *проф. Северного (Арктического) федерального университета
им. М.В. Ломоносова, д-р с-х. наук*⁽¹⁾,

Т.В. ТЮРИКОВА, *Ученый секретарь Северного (Арктического) федерального университета
им. М.В. Ломоносова, канд. техн. наук*⁽¹⁾,

М.В. АВЕРИНА, *асп. Северного (Арктического) федерального университета
им. М.В. Ломоносова*⁽¹⁾

averina.mariya1990@yandex.ru, feklistov@narfu.ru, t.turikova@narfu.ru

⁽¹⁾ ФГАОУ ВО Северный (Арктический) федерального университета имени М.В. Ломоносова, 163002г. Архангельск, ул. Набережная Северной Двины, д. 17

Темой статьи является роль типов леса в смене пород на старопахотных землях. Объектами исследования являются 963 таксационных описания насаждений на старопахотных землях на территории парка. Древоостой на старопахотных землях Кенозерского парка представлены ельниками и сосняками. Ельники представлены 5 типами леса: черничниками, травяно-сфагновыми, долгомошными, приручейно крупнотравными, кисличниками. Сосняки – 4 типами леса (черничниками, кисличниками, травяно-сфагновыми, брусничниками). Доминирующими типами являются ельники/сосняки черничники. Отмечено, что на сильно увлажненных и сухих почвах нет старопахотных земель. Для преобладающих по площади сосняков и ельников черничных породный состав характеризуется формулами 5Б2С2Ол1Ос+Е,Ив и 5Б2Е2Ол1Ос+Ив,С соответственно. Большое число таксационных описаний позволило оценить процессы вторичных сукцессий в течение длительного времени – до 170 лет. Доля участия пород с временем меняется. Доля разных видов ивы имеет тенденцию снижения. Через 60–70 лет эти виды исчезают. Этот возраст соответствует их предельной продолжительности жизни, а условия возобновления отсутствуют. Такая же тенденция характерна для ольхи. Ель развивается по классическому сценарию. Береза на протяжении всего периода составляет 3–6 единиц в составе, скорее всего, это разные поколения березы, поскольку предельная продолжительность ее жизни – 80 лет. С течением времени возрастает доля сосны – от доли единиц до 4 единиц к 170 годам. Очень стабильное участие осины – от доли единицы до 2 единиц. Очевидно, что процесс сукцессии в 170 лет не заканчивается и будет продолжаться.

Ключевые слова: Кенозерский национальный парк, типы леса, зарастание, старопахотные земли, породный состав древостоя.

Зарастание лесом старопахотных земель всегда имело место в Архангельской области, но этот процесс очень усилился после распада СССР, закрытия многих сельскохозяйственных предприятий и вымирания деревень.

Процесс сукцессии на старопахотных землях исследовался многими учеными, но единого представления о породном составе данных земель, смене пород нет. Так, по данным С.В. Залесова, Н.Н. Новоселовой, Л.П. Абрамовой [1] и Д.М., Трубина, С.В. Торхова [2], на бывших сельскохозяйственных угодьях доминируют лиственные породы, а по данным А.И. Уткина, Т.А. Гульбе, Я.И. Гульбе и др. [3] установлено, что большинство молодняков, формирующихся на бывших сельскохозяйственных угодьях, имеют в составе хвойные породы.

Цель – изучение породного состава древостоев на старопахотных землях и сме-

ны пород в Кенозерском национальном парке, который располагается в средней подзоне тайги Архангельской области на границе с Карелией. Район всегда (до образования национального парка) был типично сельскохозяйственным.

Объект и описание методов

Объектами исследования явились 963 таксационных описания насаждений на старопахотных землях Кенозерского национального парка. Каждое описание включало породный состав, возраст, тип леса, высоту, диаметр, запас, бонитет. Таксационные описания подвергались камеральной, статистической обработке в программах Excel.

Результаты и обсуждение

Леса парка разнообразны и, по данным Проекта организации и ведения...[4], обобщенный для всех лесов парка породный

Распределение покрытых лесом земель по типам леса
The distribution of forest covered land by the type of forest

Тип леса	Площади по преобладающим породам							Итого
	Сосна	Ель	Береза	Осина	Ольха	Ива древ.	Ива куст.	
Лишайниковый	0,1	0	0	0	0	0	0	0,1
Мохово-лишайниковый	0,2	0	0	0	0	0	0	0,2
Брусничный	1,5	0,1	0,1	0	0	0	0	1,7
Кисличный	4,9	0,6	6,1	0,6	0,3	0	0	12,5
Травяной	4,5	0,9	11,5	0,7	0,5	0	0	18,1
Травяно-сфагновый	2,8	9,6	1,2	0	0	0	0	13,6
Черничник свежий	23,2	9,1	8	1	0,1	0	0	41,4
Черничник влажный	0,5	1,9	0,5	0	0	0	0	2,9
Долгомошник	0,3	0,6	0	0	0	0	0	0,9
Приручено крупнотравный	0	1	0,3	0	0,1	0	0	1,4
Лог	0	0,9	0,2	0	0	0	0	1,1
Вахтосфагновый	1,5	0	0,1	0	0	0	0	1,6
Осоко сфагновый	0,7	0	0,2	0	0	0	0	0,9
Багульниковый	1	0	0	0	0	0	0	1
Сфагновый	2,4	0,1	0	0	0	0	0	2,5
Пойменный	0	0	0	0	0	0	0,1	0,1
Всего	43,6	24,8	28,2	2,3	1	0	0,1	100

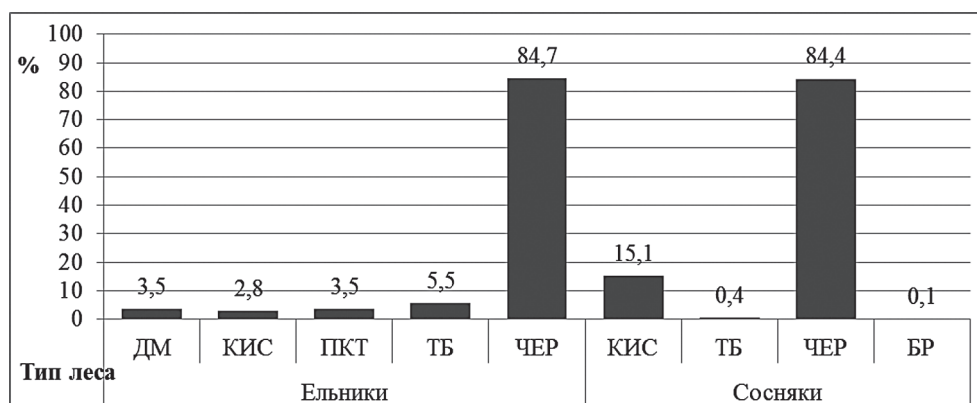


Рис. 1. Распределение древостоев на старопахотных насаждениях по типам леса
Fig. 1. The distribution of stands on cultivated lands by forest types

состав выражается формулой: 3С 3Е 3Б 1 Ос+ Ол ед. Ив, Лц, Чр, Р. По данным Лесохозяйственного регламента... [5], преобладающими типами леса являются сосняки черничные и кисличные, ельники черничные и травяно-сфагновые (табл. 1). На их долю приходится вместе 49,2 % от общей площади парка. Среди представленных типов есть засушливые типы, такие как ельник/сосняк лишайниковый, мохово-лишайниковый, так и значительно увлажненных участков – как ельник/сосняк сфагновые.

В соответствии с имеющимися площадями (распределением по типам леса) оказались и старопахотные земли. Древостои на старопахотных землях Кенозерского парка представлены ельниками и сосняками (рис. 1). Ельники представлены 5 типами леса: ельниками черничниками (84,7 %), травяно-сфагновыми (5,5 %), долгомошными (3,5 %), приручено крупнотравными (3,5 %), кисличниками (2,8 %). Сосняки – 4 типами леса: сосняками черничниками (84,4 %), кисличниками (15,1 %), травяно-сфагновыми (0,4 %), брусничниками

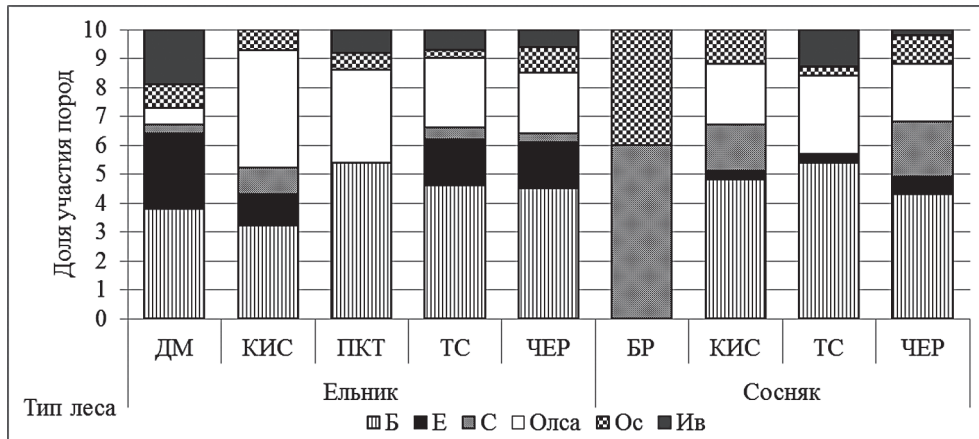


Рис. 2. Доля участия пород в древостое в зависимости от типа леса: ДМ – долгомошные, КИС – кисличники, ПКТ – приручейно крупнотравные, ТБ – травяно-сфагновые, ЧЕР – черничники, БР – брусничники

Fig. 2. The proportion of species involvement in the stand depending on the type of wood: ДМ – polytric, КИС – sorrel, ПКТ – prirucheyno krupnotravnye, ТБ – grass-sphagnum, ЧЕР – bilberry pine forests, БР – cowberry

(0,1 %). Исходя из этого можно сказать, что древостои на старопахотных землях в основном представлены ельниками/сосняками черничниками. Старопахотных земель на сильно увлажненных и сухих почвах нет.

Доли участия пород в древостоях разных типов леса различны (рис. 2). Для ельников (долгомошных, приручейно крупнотравных, травяно-сфагновых и черничников), доминирующей породой является береза, доля ее участия колеблется от 3,8 (долгомошных) до 5,4 единицы состава (приручейно крупнотравных). Лишь в ельниках кисличниках несколько больше ольхи серой. Наибольшее видовое разнообразие древесных пород у ельников долгомошных, травяно-сфагновых и черничников, оно составляет 6 пород. Ельники кисличники имеют наименьшее число пород. Сосняки на старопахотных землях представлены брусничниками, черничниками, кисличниками, и травяно-сфагновыми. Для сосняков (травяно-сфагновых, кисличников и черничников) доминирующей породой является береза, доля ее участия колеблется от 4,3 (черничники) до 5,4 (травяно-сфагновые). Наибольшее разнообразие древесных пород представлено у сосняков черничников (6 пород), наименьшее – у сосняков брусничников (всего 2 породы).

Для преобладающих по площади сосняков и ельников черничных породный со-

став можно характеризовать следующими формулами: для сосняков черничных 5Б 2С 2Ол 1Ос + Е, Ив, для ельников черничных 5Б 2Е 2 Ол 1 Ос + Ив, С. Ельники долгомошные имеют формулу 4Б 3Е 2 Ив + С, Ол, Ос, у ельников кисличников – 4Ол 3Б 1Е 1С 1Ос, ельники приручейно крупнотравные имеют формулу 5Б 3Ол 1Ив 1Ос, ельники травяно-сфагновые – 5Б 3Ол 2Е + С, Ос, Ив. Формула древостоя у сосняков брусничников 6С 4Ос, у сосняков кисличников 5Б 2Ол 2С 1Ос + Е, у сосняков травяно-сфагновых 6Б 3Ол 1Ив + Е, Ос.

Большое число таксационных описаний позволило оценить процессы вторичных сукцессий (зарастания древесной растительностью и смены пород) в течение длительного времени, до 170 лет. Доля участия пород с временем меняется. Так, доля участия разных видов ивы с течением времени имеет очень четкую тенденцию снижения (рис. 3). Через 60–70 лет этих видов нет вообще. Это соответствует их предельной продолжительности жизни, а условия для возобновления отсутствуют (табл. 2). Такая же тенденция характерна для ольхи с той лишь разницей, что она исчезает из состава на 10–20 лет позже и через 80 лет исчезает. По классическому сценарию развивается процесс с елью [6]. На первоначальных этапах ее доля в составе меньше единицы, и это продолжается

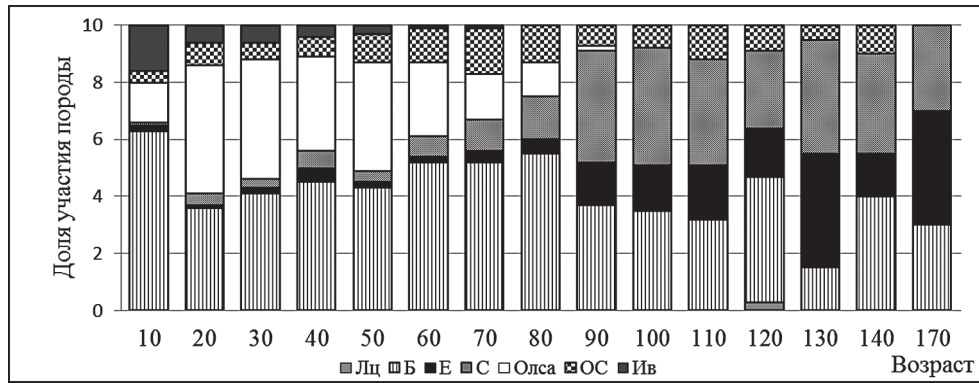


Рис. 3. Доля участия пород в древостое в зависимости от возраста
 Fig. 3. Share of the species in the stand depending on age

до 80 лет, а в дальнейшем ее количество увеличивается до 3 единиц к 170 годам. Береза как пионерная порода на протяжении всего периода составляет 3–6 единиц в составе и, скорее всего, это разные поколения березы, так как предельная продолжительность жизни ее составляет 80 лет (табл. 2). С течением времени возрастает доля сосны: от доли единицы в составе в период вселения на сельскохозяйственные земли до 4 единиц к 170 годам. Очень стабильное участие осины в составе древостоев от доли единицы до 2 единиц. По-видимому, в начальный период

это осина семенного происхождения, а по мере отмирания пионерных растений в 80 лет (табл. 2) имеет место в следующих поколениях и семенное и вегетативное. Очевидно, что процесс сукцессии в 170 лет не заканчивается и будет продолжаться, если следовать теории климакса Клементса (по Одуму 1986) до возникновения климаксового сообщества [7]. На этапе 160–170 лет от заселения древесной растительностью полей средний состав 4Е 3С 3Б. Таким образом, состав приблизился к среднему составу по Кеннозерскому национальному парку в целом.

Т а б л и ц а 2

Максимальный возраст пород и их отношение к свету
The maximum age of the species

Порода	Возраст
Ель	250–300 (Булыгин, 1991 [8], Шиманюк, 1974 [9]), 300 (Алексеев, Жмылев, Карпухина, 1997 [10]), 500 (Каппер, 1954 [11])
Сосна	200–50 (Каппер, 1954), 300–350 (Алексеев, Жмылев, Карпухина, 1997), 300–500 (Антрохин, 1982 [12]), 350–600 (Булыгин, 1991)
Лиственница	300–400 (Алексеев, Жмылев, Карпухина, 1997), 300–450 (Булыгин, 1991), 500 (Шиманюк, 1974), 600 (Антрохин, 1982)
Береза	120 (Антрохин, 1982), 120–150 (Шиманюк, 1974)
Ольха	50–60 (Булыгин, 1991), 60 (Алексеев, Жмылев, Карпухина, 1997, Антрохин 1982, Шиманюк, 1974)
Осина	60–80 (Булыгин, 1991), 150 (Шиманюк, 1974)
Ива	100 (Булыгин, 1991)

Выводы

1. Старопахотные земли располагаются на местах ельников и сосняков черничных и отчасти сосняков кисличных. Состав пород следующий: 5Б 2Е 2 Ол 1 Ос + Ив, С и 5Б 2С 2Ол 1Ос + Е, Ив. Но в связи с тем, что сосняки черничные преобладают более чем в два раза по площади, обобщенный для древостоев на старопахотных землях породный состав выражается формулой: 5Б 2Ол 2С 1Ос +Е +Ив ед Лц.

2. В процессе сукцессии происходит смена пород. Доля участия разных видов ивы и ольхи серой с течением времени имеет очень четкую тенденцию снижения. Для них характерно полное исчезновение через срок, равный их предельной продолжительности жизни. Доля участия пород сосны и ели с увеличивается от доли единицы до 3–4 единиц. Доля осины в древостое стабильна на уровне 1–2 единиц, березы на протяжении всего периода – 3–6 единиц.

Библиографический список

1. Залесов, С.В. Формирование насаждений на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного использования, в условиях средней подзоны тайги Пермской области / С.В. Залесов, Н.Н. Новоселова и др. // Леса Урала и хозяйство в них. – Екатеринбург, 2004. – Вып. 25. – С. 30–41.
2. Трубин, Д.М. Отражение видов прошлого земледелия в структуре современных лесов / Д.М. Трубин, С.В. Торхов // Сб. статей XI съезда русского географического общества. – 2000. – Т. 6. – С. 61–63.
3. Уткин, А.И. О наступлении лесной растительности на сельскохозяйственные земли в Верхнем Поволжье / А.И. Уткин, Т.А. Гульбе, Я.И. Гульбе // Лесоведение. – 2002. – № 5. – С. 44–50.
4. Проект организации и ведения лесного хозяйства Кенозерского национального парка. Т. 1. Архангельск, 1997: рукопись // Архив Кенозерского национального парка. Фонд 1. Оп. 8. № 321.
5. Лесохозяйственный регламент лесничества «Кенозерский национальный парк» на период 2008–2017 гг. – Архангельск, 2008.
6. Морозов, Г.Ф. Учение о лесе / Г.Ф. Морозов; ред. В.Г. Нестеров. – 7-е изд. – М.: Гослесбумиздат, 1949. – 455 с.
7. Одум Ю. Экология / Пер. с англ. Ю.М. Фролова. – М.: Мир, 1986.
8. Булыгин, Н.Е. Дендрология / Н.Е. Булыгин. – Л.: Агропромиздат, 1991. – 352 с.
9. Шиманюк, А.П. Дендрология / А.П. Шиманюк. – М.: Лесная пром-сть 1974. – 264 с.
10. Алексеев, Ю.Е. Деревья и кустарники / Ю.Е. Алексеев, П.Ю. Жмылев, Е.А. Карпухина. – М.: АБФ, 1997. – 592 с.
11. Каппер, О.Г. Хвойные породы леса / О.Г. Каппер. – М.: Гослесбумиздат, 1954. – 303 с.
12. Атрохин, В.Г. Лесоводство и дендрология / В.Г. Атрохин. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 381 с.

THE ROLE OF FOREST TYPES IN THE CHANGE OF SPECIES TO CULTIVATED LANDS KENOZERO NATIONAL PARK

Feklistov P.A., Prof. NArFU, Dr. Sci. (Agricultural)⁽¹⁾; Turikova T.V., NArFU, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾, Averina M.V., pg. NArFU⁽¹⁾

averina.mariya1990@yandex.ru, feclistov@narfu.ru, t.turikova@narfu.ru

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

The theme of the article is the role of forest types in the change of species on cultivated lands. The objects of the study are 963 wedge descriptions of stands on cultivated lands within the park territory. The tree stands on the cultivated lands of the Kenozero Park are mostly spruce and pine. The spruce stands are represented by 5 forest types: bilberry spruce forest, grass-sphagnum, spruce grove long-stem moss, spruce grove at about brook tallgrass, wood sorrel spruce forest. Pine forests are represented by 4 types of forests (bilberry pine forests, pine forest mountain sorrel, herb-sphagnum, cowberry pine forest). For the territorially predominant pine and spruce bilberry forests the species composition is counted by the following formulas: 5Б2С2Ол1Ос+Е,Ив, 5Б2Е2Ол1Ос+Ив,С respectively. A large number of wedge descriptions has allowed to evaluate the processes of secondary succession up to 170 years. The shares of the species change with time. The proportion of different types of willow tends to decrease. After 60-70 years these species disappear. This age corresponds to the limit of their life expectancy, and the absence of the resumption conditions. The same tendency is typical for alder. Spruce develops according to the classical scenario. Birch comprises 3-6 units in the composition throughout the whole period, probably these are different generations of birch, as the duration of its life is limited to 80 years. With the increasing proportion of pine trees on the proportion of units to 4 units to 170 years in time. Very stable part is the one of aspen, which is from one share to 2 units. Obviously, the succession process does not end in 170 years and will continue into the future.

Keywords: Kenozersky National Park, forest types, overgrowing, cultivated lands, the species composition of the stand.

Referenses

1. Zalesov S.V., Novoselova N.N., Abramova L.P. *Formirovaniye nasazhdeniy na zemlyakh, vyshedshikh iz-pod sel'skokhozyaystvennogo ispol'zovaniya, v usloviyakh sredney podzony taygi Permskoy oblasti* [Formation of plantings on the lands that came out of agricultural use, in a subzone of middle taiga of the Perm region], *Lesa Urala i khozyaystvo v nikh* [Forest Urals and farm them], Ekaterinburg, 2004, V. 25. pp. 30-41.
2. Trubin D.M., Torkhov S.V. *Otrazhenie vidov proshlogo zemledeliya v strukture sovremennykh lesov* [Reflection kinds of agriculture in the structure of the last modern forests]. *Sb. statey XI s'ezda russkogo geograficheskogo obshchestva* [Articles XI Congress of the Russian Geographical Society], 2000, T. 6, pp. 61-63.
3. Utkin A.I., Gulbe T.A. Gulbe Y.I. *O nastuplenii lesnoy rastitel'nosti na sel'skokhozyaystvennyye zemli v Verkhnem Povolzh'e* [On the occurrence of forest vegetation on agricultural land in the Upper Volga region], *Lesovedenie* [Forest Science], 2002, № 5, pp. 44-50.
4. *Proekt organizatsii i vedeniya lesnogo khozyaystva Kenozerskogo natsional'nogo parka* [Project organization and forestry Kenozero National Park], Archive Kenozero National Park: manuscript, T. 1, Arkhangelsk, 1997. Fond 1. Op. 8. pp. 321.
5. *Lesokhozyaystvennyy reglament lesnichestva «Kenozerskiy natsional'nyy park» na period 2008-2017 gg.* [Forestry regulations forestry «Kenozersky National Park» for the period 2008-2017], Arkhangelsk, 2008.
6. Morozov G.F., Nesterov V.G. *Uchenie o lese* [The doctrine of the forest], Moscow: Goslesbumizdat, 1949, pp. 455.
7. Odum Yu. *Ekologiya* [Ecology], Moscow: Mir, 1986.
8. Bulygin N.E. *Dendrologiya* [Dendrology], Leningrad: Agropromizdat, 1991. 352 p.
9. Shimanyuk A.P. *Dendrologiya* [Dendrology], Moscow: Forestry, 1974, 264 p.
10. Alekseev Y.E., Zhmylev P.Y., Karpukhina E.A. *Derev'ya i kustarniki* [Trees and shrubs], Moscow: ABF, 1997, 592 p.
11. Capper O.G. *Khvoynye porody lesa* [Coniferous forests breed], Moscow: Goslesbumizdat, 1954, 303 p.
12. Atrohin V.G. *Lesovodstvo i dendrologiya* [Silviculture and dendrology], Moscow: Forestry, 1982, 381 p.

УДК 631.412

ПРИРОДА КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ВОЗДУШНО-СУХИХ ПОЧВ С ВОДОЙ

Г.Н. ФЕДОТОВ, *ст. научн. сотр. Института экологического почвоведения*

МГУ им. М.В. Ломоносова, д-р биол. наук⁽¹⁾,

М.Ф. ФЕДОТОВА, научный сотрудник МГТУ им. Н.Э. Баумана⁽²⁾,

В.С. ШАЛАЕВ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук⁽²⁾,

Ю.П. БАТЫРЕВ, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽²⁾,

А.Г. ШМАТОВА, ф-т почвоведения МГУ⁽¹⁾

gennadiy.fedotov@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

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

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал),
141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Общепризнано, что почвенные коллоиды в виде гелей покрывают и связывают почвенные частицы между собой, обеспечивая существование почвы как системы с определенным набором свойств. Одними из важнейших свойств, характеризующих подобные системы, являются структурно-механические свойства. Целью настоящего исследования являлось изучение природы возникновения колебаний напряжения сдвига при работе ротационного вискозиметра при помещении в него почвенных паст, приготовленных из воздушно-сухих почв и воды. Результаты исследований позволяют предположить, что ведущим процессом является иссушение (уменьшение влажности) верхнего слоя почвенной пасты в кювете с вращающимся шпинделем. Высыхание почвы приводит к появлению связей между иссушенным слоем и шпинделем и их разрушению, то есть появлению колебаний. Предложенный механизм возникновения колебаний позволяет предположить влияние различных параметров на положительные и отрицательные обратные связи и на весь процесс возникновения колебаний в целом. Проведенное исследование свидетельствует, что возникновение колебаний напряжения сдвига в почвенных пастах является частным процессом, характерным для ротационной вискозиметрии при испарении из пасты в процессе эксперимента воды. Однако колебания не могли бы возникать при отсутствии структурного перехода в гумусовой матрице почвенных гелей при потере почвенным образцом воды.

Ключевые слова: почвенные коллоиды, супрамолекулярные образования, воздушно-сухие почвы, вода, взаимодействие.

В настоящее время общепризнано, что почвенные коллоиды в виде гелей покрывают и связывают почвенные частицы между собой, обеспечивая существование почвы как системы с определенным набором свойств [8]. Причем, почвенные гели рассматривают как наполненную различными частицами гумусовую матрицу [9], которая имеет многоуровневую организацию. На первом уровне из простых органических молекул образуются супрамолекулярные образования гумусовых веществ (ГВ) размером несколько нанометров (первичные частицы ГВ), имеющие мозаичную гидрофильно-гидрофобную поверхность. На втором уровне первичные частицы ГВ объединяются между собой в водной среде через гидрофобные участки поверхности, образуя фрактальные кластеры размером 100–200

нм, которые (третий уровень), взаимопроникающая и взаимодействуя между собой через оставшиеся свободными гидрофобные участки первичных частиц ГВ, образуют гумусовую матрицу [11, 12]. При высушивании подобных систем происходит постепенная замена контактов между частицами ГВ и водой на контакты частицы ГВ – воздух. В результате при достижении определенного уровня влажности существование связей в гумусовой матрице через гидрофобные участки становится термодинамически невыгодным и меняется на гидрофильные связи, то есть в гумусовой матрице происходит структурный переход [11], который влияет на многие свойства почв [11].

Наполненный гумусовый студень (почвенный гель), определяющий многие свойства почв, ведет себя подобно многим

полимерам – набухает, вбирая в себя воду и увеличиваясь в объеме, а при высушивании происходит его усадка.

Одними из важнейших свойств, характеризующих подобные системы, являются структурно-механические свойства [1–3, 13].

Некоторое время назад при помощи ротационного вискозиметра было изучено взаимодействие воздушно-сухих почв с водой и обнаружено существование очень сильных периодических и непериодических колебаний напряжения сдвига во времени [10]. Было предложено объяснение причины возникновения этих колебаний, но полной уверенности в корректности этого объяснения не было.

Материалы и методы исследования

Целью настоящего исследования являлось изучение природы возникновения колебаний напряжения сдвига при работе ротационного вискозиметра при помещении в него почвенных паст, приготовленных из воздушно-сухих почв и воды.

В работе использовали образцы, отобранные из пахотных горизонтов среднекультурной, среднесуглинистой, дерново-подзолистой почвы из окрестностей поймы р. Яхромы и Воронежского выщелоченного чернозема.

При приготовлении образцов для исследования 20–25 г воздушно-сухой почвы с размером частиц менее 2 мм смешивали в течение 2–3 мин с водой, количество которой обеспечивало получение почвы с определенной влажностью. После этого почву загружали в ячейку ротационного вискозиметра [14] Брукфилда HBDV-II+PRO (компания Brookfield, США). В работе использовали адаптер для малых образцов SSA и шпиндель SC4-27 SSA.

Время от добавления воды в почву до начала процесса измерения (время, в течение которого исследования изменений структурно-механических свойств не проводили) составляло около 15 мин. Для сравнения были проведены эксперименты, в которых пасты помещали в ячейку вискозиметра через сут-

ки после приготовления. Изучали изменение напряжения сдвига в ротационном вискозиметре после помещения в него почвенных паст и включения вращения при заданной скорости сдвига. Скорость сдвига изменяли в интервале 0,17–3,4 с⁻¹. Ячейку вискозиметра при проведении экспериментов термостатировали, поддерживая температура 25°C и 35°C.

После приготовления часть почвенной пасты отбирали и проводили определение влажности при помощи «Анализатора влажности MB25».

Результаты и обсуждение

При изучении дерново-подзолистой почвы значительных колебаний обнаружено не было. В качестве примера приведено несколько графиков (рис. 1–2).

При проведении экспериментов с пастами дерново-подзолистой почвы можно было отметить ряд особенностей.

1. При помещении почвенной пасты дерново-подзолистой почвы в ячейку и вращении шпинделя происходит сегрегация пасты с выделением тяжелых (песчаных частиц) в нижней части ячейки и у стенок. Почвенный раствор располагается в верхней части ячейки над почвой.

2. В процессе вращения шпинделя около его хвостовой части собираются мелкие пузырьки воздуха. После их удаления (фильтровальной бумагой) они постепенно вновь появляются у хвостовой части шпинделя.

3. Почвенный раствор, находящийся в верхней части ячейки, постепенно за 2–3 часа исчезает, по-видимому, частично впитывается в дерново-подзолистую почву, а частично испаряется. При наличии слоя почвенного раствора в ячейке напряжение сдвига растет, а после поглощения и испарения воды выходит на постоянный уровень.

4. Добавление воды в ячейку приводит к возобновлению роста напряжения сдвига.

5. Около хвостовой части шпинделя при его вращении постепенно образуется конусообразная воронка, заполненная водой. Почвенные частицы отбрасываются в верхней части ячей-

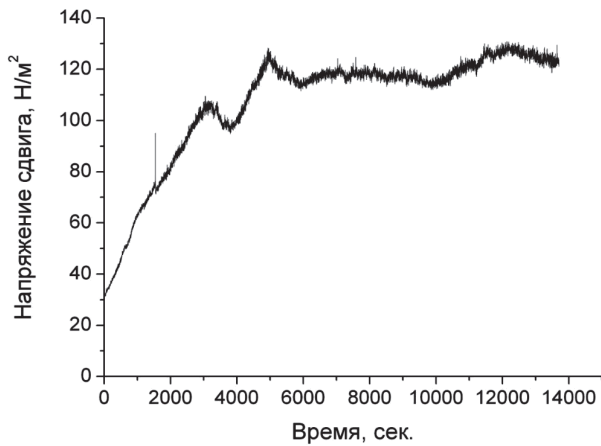


Рис. 1. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: дерново-подзолистая, скорость сдвига – $1,7 \text{ c}^{-1}$, температура – $25 \text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 1. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: sod-podzolic, shear rate – $1,7 \text{ s}^{-1}$, the temperature of – $25 \text{ }^\circ\text{C}$

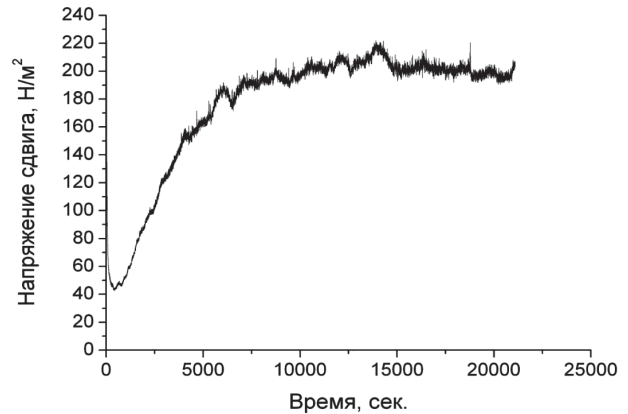


Рис. 2. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: дерново-подзолистая, скорость сдвига – $1,7 \text{ c}^{-1}$, температура – $25 \text{ }^\circ\text{C}$

Fig. 2. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: sod-podzolic, shear rate – $1,7 \text{ s}^{-1}$, the temperature of – $25 \text{ }^\circ\text{C}$

ки от центра к периферии, как это и должно наблюдаться для частиц, которые тяжелее воды.

6. При помещении порошка мела в виде вертикальной полоски в слой почвы

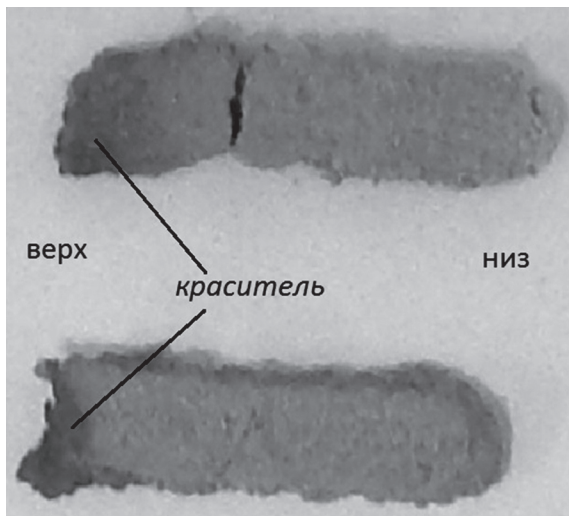


Рис. 3. Исследование дерново-подзолистой почвы с красителем Эозин К: 10 мин вращения со скоростью сдвига $5,1 \text{ c}^{-1}$ после загрузки, внесение красителя и вращение еще 10 мин со скоростью сдвига $5,1 \text{ c}^{-1}$; верхнее изображение примыкало к шпинделю, нижнее – к стенке кюветы

Fig. 3. Investigation of the sod-podzolic soil with the dye «Eosin K»: 10 minutes rotation at a speed of the shift as $5,1 \text{ s}^{-1}$ after boot, dying and rotation for 10 minutes at a shear rate of $5,1 \text{ s}^{-1}$; the top layer of the image adjoined to the spindle, the lower one – to the cell wall

между стенкой ячейки и шпинделем и при последующем вращении полоска из порошка мела не изменяется. Это свидетельствует об отсутствии перемещения частиц почвы друг относительно друга в слое почвы между шпинделем и стенкой ячейки.

7. Помещение красителя в ячейку над утолщением шпинделя с последующим включением вращения свидетельствует, что почвенный раствор дерново-подзолистой почвы не перемещается у стенки ячейки и слабо перемещается сверху вниз по поверхности почвы, контактирующей со шпинделем (рис. 3).

8. Помещение красителя в ячейку под шпинделем с последующим включением вращения свидетельствует, что почвенный раствор дерново-подзолистой почвы перемещается снизу вверх по поверхности почвы, контактирующей со шпинделем. При этом толщина прокрашенного слоя соответствует первому слою песчинок, примыкающих к шпинделю (рис. 4).

Полученные при изучении дерново-подзолистой почвы результаты позволяют сделать вывод, что при вращении шпинделя в пасте (приготовленной из воздушно-сухой почвы и воды) из нее непрерывно выделяется заземленный при приготовлении пасты воз-

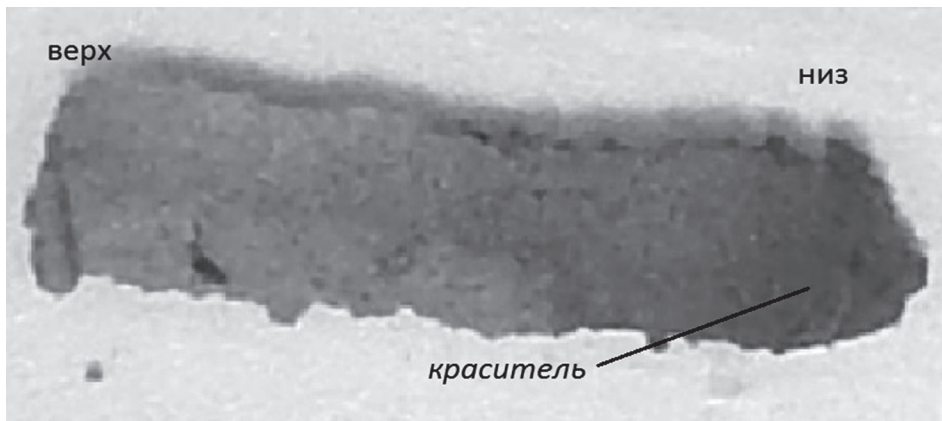


Рис. 4. Исследование дерново-подзолистой почвы с красителем Эозин К: 15 мин вращения со скоростью сдвига $5,1 \text{ с}^{-1}$ после загрузки, внесения красителя и вращение в течение еще 15 мин со скоростью сдвига $5,1 \text{ с}^{-1}$

Fig. 4. Investigation of the sod-podzolic soil with the dye «Eosin K»: 15 minutes rotation at a speed of the shift as $5,1 \text{ s}^{-1}$ after boot, dying and rotation for 15 minutes at a shear rate of $5,1 \text{ s}^{-1}$

дух. Об этом свидетельствует существование «ожерелья» из пузырьков воздуха вокруг верхней части шпинделя. Судя по распространению красителя вдоль поверхности шпинделя (вверх он распространяется заметно быстрее, чем вниз), можно предположить, что воздух выделяется вдоль поверхности шпинделя. Так как пузырьки воздуха неустойчивы и непрерывно лопаются, то возрастание их числа на поверхности воды свидетельствуют о постепенном выходе защемленного воздуха из образца почвенной пасты при вращении шпинделя.

Увеличение напряжения сдвига, по видимому, связано с набуханием дерново-подзолистой почвы в ячейке, ее давлением на шпиндель из-за фиксации структуры почвенного образца – отсутствия перемещения частиц друг относительно друга (эксперимент с порошком мела), что позволяло бы снять возникающие напряжения.

Наличие непериодических, относительно небольших колебаний напряжения сдвига при набухании почвы в ячейке может быть объяснено поглощением воды дерново-подзолистой почвой и повышением в ней давления, которое периодически снижается при удалении из почвенной пасты защемленного почвенного воздуха.

Таким образом, для пасты, полученной из среднесуглинистой дерново-подзолистой почвы, причины возникновения зна-

чительных колебаний напряжения сдвига в ротационном вискозиметре отсутствуют. Можно ожидать, что и для других почвенных паст, содержащих крупные частицы и способных расслаиваться в ячейке ротационного вискозиметра, колебаний тоже наблюдаться не будет.

При изучении почвенных паст, приготовленных из воды и воздушно-сухого чернозема, наблюдается принципиально иная картина – в определенных условиях возникают периодические усиливающиеся колебания. Количество их невелико – несколько штук (3–6), но выраженность достаточно отчетливая – напряжение сдвига меняется почти на порядок (рис. 5–6).

Необходимо отметить, что в отличие от дерново-подзолистой почвы расслоения в пасте из чернозема при вращении шпинделя не наблюдается, а колебания появляются, когда верхний слой почвенной пасты начинает подсыхать, а напряжение сдвига при этом начинает нарастать. Причем добавление нескольких капель воды в верхний слой почвы приводит к исчезновению нарастания напряжения сдвига, которое опять проявляется после подсыхания почвы (рис. 7). Значительное уменьшение испарения при закрытии кюветы с пастой крышкой с отверстием для хвостовика шпинделя практически полностью исключает или значительно уменьшает нарастание напряжения

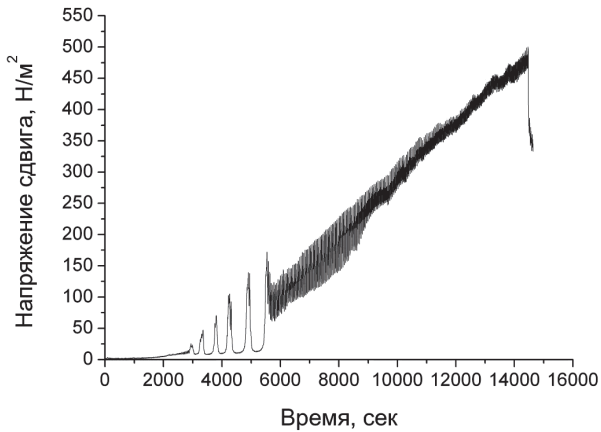


Рис. 5. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $0,306 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $42,71 \%$

Fig. 5. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate $0,306 \text{ s}^{-1}$, the temperature $24,8^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) $42,71 \%$

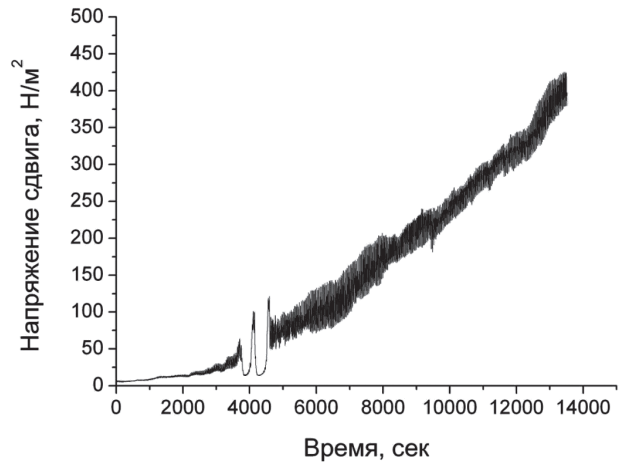


Рис. 6. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $0,408 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $42,31 \%$ (без крышки)

Fig. 6. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate $0,408 \text{ s}^{-1}$, the temperature $24,8^\circ\text{C}$, moisture of the paste (soil) $42,31 \%$ (without lid)

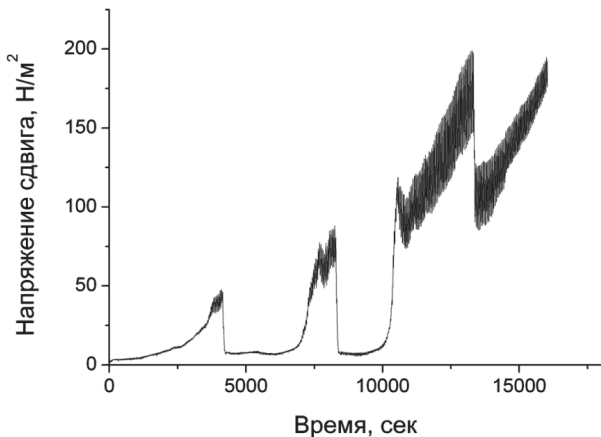


Рис. 7. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $0,306 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) меняли добавлением воды при начальной стадии роста напряжения сдвига (без крышки)

Fig. 7. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate – $0,306 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) was changed by adding water at an initial stage of growth of the shear stress (without lids)

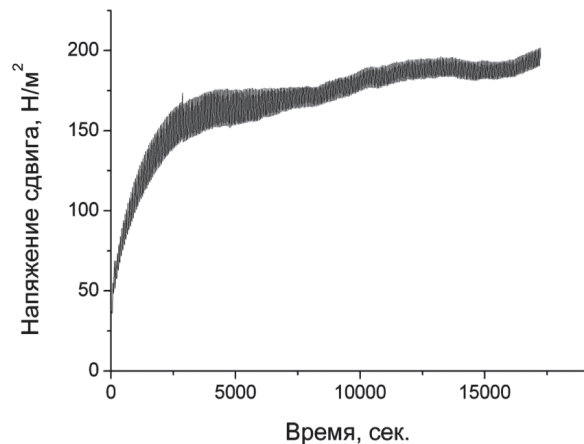


Рис. 8. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $0,238 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $41,42 \%$ (с крышкой)

Fig. 8. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate – $0,238 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) – $41,42\%$ (with a lid)

сдвига во времени и появление колебаний (рис. 8–9).

Полученные экспериментальные результаты также свидетельствуют, что, во-

первых, колебания появляются на пасте из чернозема только при малых скоростях сдвига ($0,306 - 0,408 \text{ 1/с}$), а при больших скоростях сдвига периодических колебаний

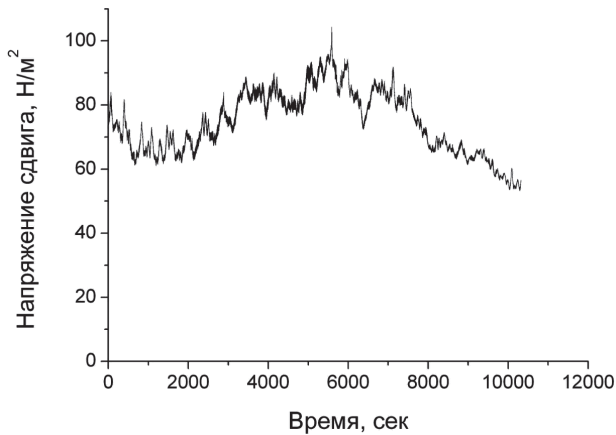


Рис. 9. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $2,55 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $40,65 \%$ (с крышкой)

Fig. 9. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate – $2,55 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) – $40,65\%$ (with a lid)

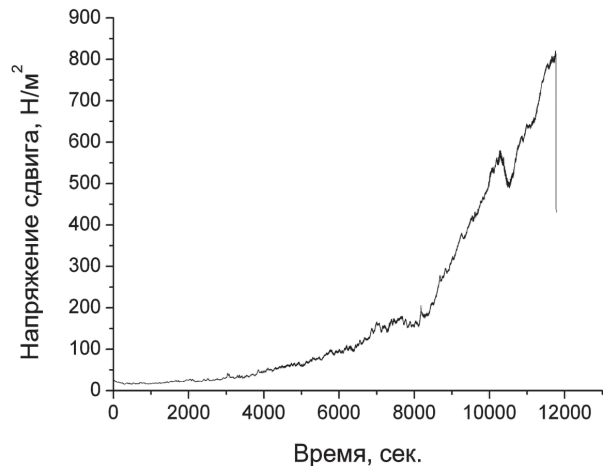


Рис. 10. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, скорость сдвига – $2,55 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $40,75 \%$

Fig. 10. Fluctuations in voltage shift over time with the interaction of air-dry soil with water: mold, with the shear rate – $2,55 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) – $40,75\%$

обнаружить не удастся (рис. 10). Во-вторых, приготовление почвенной пасты за сутки до помещения в ячейку вискозиметра не исключает появления колебаний (рис. 11), что позволяет исключить из рассмотрения взаимодействие воздушно-сухих почв с водой, проходящее в почвенной пасте как ведущий процесс, приводящий к возникновению диссипативных структур [4–7]. В-третьих, проведение экспериментов при температурах $25 \text{ }^\circ\text{C}$ и $35 \text{ }^\circ\text{C}$ не показало значимых различий между ними.

Выводы

Все это позволяет предположить, что ведущим процессом является иссушение (уменьшение влажности) верхнего слоя почвенной пасты в кювете с вращающимся шпинделем. Высыхание почвы приводит к появлению связей между иссушенным слоем и шпинделем и их разрушению, то есть появлению колебаний.

Появляющиеся связи, по-видимому, возникают при образовании структур из частиц при иссушении почвы, растущих от уже иссушенного слоя (корки) к шпинделю. С позиций синергетики для возникновения колебаний в системе необходимо существование

положительных и отрицательных обратных связей [4–7]. Можно предположить, что в качестве положительных обратных связей выступает образование фрактальных структур от «корки» к шпинделю. Как было отмечено выше, фрактальные образования характерны

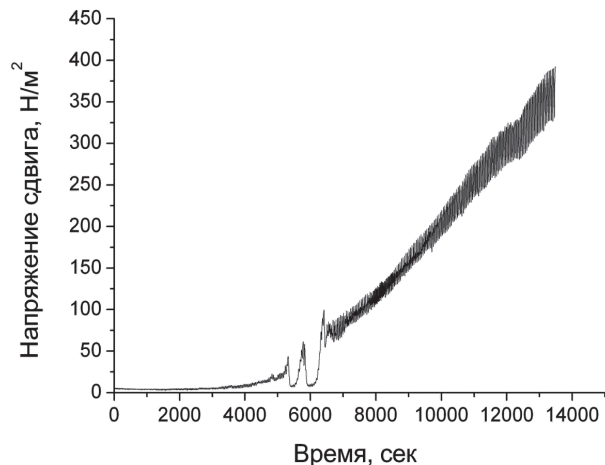


Рис. 11. Колебания напряжений сдвига во времени при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой: чернозем, взаимодействовавший с водой 1 сутки, скорость сдвига – $0,306 \text{ с}^{-1}$, температура – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, влажность пасты (почв) – $41,56 \%$ (без крышки)

Fig. 11. Fluctuations of shear stresses in the interaction time of air-dry soil to water: mold, reacting with water for 1 day, the shear rate – $0,306 \text{ s}^{-1}$, the temperature – $24,8 \text{ }^\circ\text{C}$, moisture paste (soil) – $41,56\%$ (without lid)

**Предполагаемое влияние различных параметров на возникновение
в почвенных пастах в ротационном вискозиметре колебаний**
The estimated impact of various parameters on the occurrence
in the soil pastes in the rotary viscometer vibrations

Параметр	Положительная обратная связь – образование фрактальных структур	Отрицательная обратная связь – отрыв фрактальных структур	Возможность реализации колебательного процесса
Размер почвенных частиц	При расслоении почвенной пасты, состоящей из достаточно крупных частиц, «корка» не возникает – в верхнем слое оказывается выделившаяся из пасты вода. В результате образование и разрушение фрактальных структур с «коркой» невозможно		Колебания отсутствуют
Качество гумуса	Изменение соотношения между гидрофильными и гидрофобными участками может влиять на возникновение и разрушение фрактальных структур сложным образом. Увеличение количества и размеров гидрофильных участков (возрастание фульватности гумуса) должно приводить, с одной стороны, к росту разветвленности фрактальных структур, а с другой – к потере ими прочности. Первый процесс должен вести к иницированию колебаний за счет усиления положительных обратных связей, второй процесс – к ослаблению отрицательных обратных связей		Однозначный ответ дать сложно. Колебания могут усиливаться и исчезать
Содержание солей в почве	При увеличении концентрации солей размер ионных атмосфер вокруг гидрофильных участков поверхности уменьшается (они сжимаются) и разветвленность фрактальных структур падает вплоть до полного их исчезновения, то есть исчезает положительная обратная связь	В результате уменьшения разветвленности фрактала суммарное напряжение на его основании, складывающееся из напряжений на каждой ветви, снижается. Это уменьшает вероятность разрушения фрактала, то есть ослабляет отрицательную обратную связь	Колебания уменьшаются при росте концентрации солей и полностью исчезают
Влажность почвенной пасты	Увеличение влажности почвенной пасты будет увеличивать время испарения избыточной воды до содержания в пасте воды, позволяющей возникать фрактальным структурам		Вырастет время до возникновения колебаний
Температура	Рост скорости испарения воды при росте температуры приведет к ускорению иссушения пасты (образования «корки») и образованию фрактальных структур. Кроме того, за счет энтропийного эффекта при увеличении температуры возрастет разветвленность фрактальных структур. Все это приведет к ускорению реализации и усилению положительной обратной связи	Рост температуры в системе приведет к увеличению вероятности самопроизвольного не активированного сдвигом отрыва фрактальных структур от «корки» и самопроизвольному разрыву связи между «коркой» и шпинделем. То есть отрицательная обратная связь будет уменьшаться	Уменьшится время до появления колебаний, но при дальнейшем росте температуры они, вероятнее всего, исчезнут
Скорость сдвига	На рост фрактальных образований от «корки» увеличение скорости сдвига не должно оказывать значимого влияния	Увеличение скорости сдвига выше определенного предела, вероятнее всего, приведет к уменьшению передачи энергии вращения к основанию фрактальных структур. Поэтому они начнут разрушаться в пространстве, прилегающем к шпинделю. Фактически это означает ослабление отрицательной обратной связи	При увеличении скорости сдвига должна увеличиваться частота и падать амплитуда колебаний вплоть до уменьшения их выраженности и полного исчезновения

в почвах для структур из ГВ из-за дифильной поверхности частиц ГВ.

В качестве обратной связи, необходимой для реализации колебательного процесса, по-видимому, выступает структурный переход в гумусовой матрице при потере верхним слоем почвенной пасты воды. Этот структурный переход осуществляется, вероятнее всего, в верхней, более сухой части образующихся фрактальных структур. Происходит переход от гидрофобных связей, связывающих частицы ГВ, к гидрофильным связям. При подобном переходе прочность структурных связей падает, что приводит по достижении определенной величины напряжения сдвига к отрыву фрактальных образований, обеспечивающих связь более сухого слоя почвенной пасты (корки) со шпинделем. Можно предположить, что передаваемое по фракталу в его верхнюю часть напряжение от вращающегося шпинделя активирует процесс структурного перехода.

Затем повторяется образование и рост фрактальных структур и их разрушение при достижении определенного напряжения сдвига. При этом накопление фрактальных структур в пасте приводит к росту напряжения сдвига, разрушающего образовавшиеся структуры. Колебания продолжают до тех пор, пока отрыв фрактальных структур от почвенной «корки» не станет невозможным.

Предложенный механизм возникновения колебаний позволяет предположить влияние различных параметров на положительные и отрицательные обратные связи и на весь процесс возникновения колебаний в целом (таблица).

Следует отметить, что этот анализ основан на том, что почвенная паста находится в равновесном состоянии, а структурный переход в провзаимодействовавшей с водой воздушно-сухой почве произошел полностью, и связь между частицами в почвенной пасте обеспечивается, в основном, гидрофобными участками. Если же процесс не дошел до конца, то могут появиться до-

полнительные эффекты в колебательном процессе, предсказать которые достаточно сложно.

Таким образом, проведенное исследование свидетельствует, что возникновение колебаний напряжения сдвига в почвенных пастах является частным процессом, характерным для ротационной вискозиметрии при испарении из пасты в процессе эксперимента воды. Однако колебания не могли бы возникать при отсутствии структурного перехода в гумусовой матрице почвенных гелей при потере почвенным образцом воды.

Библиографический список

1. Аbruкова, Л.П. Кинетика процессов тиксотропного структурообразования в почвенных суспензиях / Л.П. Аbruкова // Почвоведение. – 1970. – № 3. – С. 104–114.
2. Аbruкова, Л.П. Тиксотропные свойства темно-серых лесных почв / Л.П. Аbruкова // Почвоведение. – 1972. – № 8. – С. 74–82.
3. Биbик, Е.Е. Реология дисперсных систем / Е.Е. Биbик. – Л.: ЛГУ, 1981. – 172 с.
4. Жаботинский, А.М. Концентрационные автоколебания / А.М. Жаботинский. – М.: Наука, 1974. – 180 с.
5. Исаев, В.В. Синергетика для биологов: вводный курс / В.В. Исаев. – М.: Наука. – 2005. – 158 с.
6. Николис, Г. Познание сложного / Г. Николис, И. Пригожин. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 344 с.
7. Пригожин, И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой / И. Пригожин, И. Стенгерс. – М.: Едиториал, УРСС 2003. – 312 с.
8. Тюлин, А.Ф. Органо-минеральные коллоиды в почве, их генезис и значение для корневого питания высших растений / А.Ф. Тюлин. – М.: АН СССР, 1958. – 52 с.
9. Федотов, Г.Н. Возможные пути формирования нано- и микроструктур в гумусовых веществах почвенных гелей / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский // Почвоведение. – 2012. – № 8. – С. 908–920.
10. Федотов, Г.Н. Колебательные процессы при взаимодействии воздушно-сухих почв с водой / Г.Н. Федотов, Г.В. Добровольский, С.А. Шоба и др. // Доклады Академии наук. – 2012. – Т. 445. – № 2. – С. 234–237.
11. Федотов, Г.Н. Влияние структурного перехода в гумусовой матрице почвенных гелей на некоторые свойства почв / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба // Доклады Академии наук. – 2014. – Т. 457. – № 1. – С. 57–60.
12. Федотов, Г.Н. Фрактальные кластеры из супермолекул гумусовых веществ в почвах / Г.Н. Федотов, С.А. Шоба // Доклады Академии наук. – 2013. – Т. 448. – № 3. – С. 366–369.
13. Фролов, Ю.Г. Структурообразование в дисперсных системах. Реологические свойства структур / Ю.Г. Фролов. – М.: МХТИ, 1980. – 63 с.
14. Шрам, Г. Основы практической реологии и реометрии / Г. Шрам. – М.: КолосС, 2003. – 312 с.

THE NATURE OF OSCILLATORY PROCESSES IN THE INTERACTION OF AIR-DRY SOIL WITH WATER

Fedotov G.N., Senior Researcher, Institute of Ecological Soil Science Lomonosov Moscow State University, Dr. Sci (Biol.)⁽¹⁾; **Fedotova M.F.**, Bauman Moscow State Technical University⁽²⁾; **Shalaev V.S.**, Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci (Tech.)⁽²⁾; **Batyrev Y.P.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Tehn.)⁽²⁾; **Shmatova A.G.**, Lomonosov Moscow State University⁽¹⁾

gennadiy.fedotov@gmail.com, shalaev@mgul.ac.ru

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

⁽²⁾ Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, Mytishchi, Moscow reg., Russia, 141005

It is generally accepted that the soil colloids in the form of gels cover and bind the soil particles together, ensuring the existence of soil as a system with a certain limited set of properties. One of the most important properties characterizing such systems are structural-mechanical properties. The purpose of this study was to investigate the nature of the shear stress oscillations occurrence during the work of the rotational viscometer with soil pastes prepared with air-dry soil and water placed inside. The results of the research suggest that the leading process is the drying (moisture reduction) of the upper layer of the soil paste in a ditch with a rotating spindle. Soil drying leads to the appearance of ties between the dried layer and the spindle, and their destruction, i.e. the emergence of oscillations. The proposed mechanism for the occurrence of oscillations forecasts the influence of various parameters on positive and negative reactions on the whole process and the process of oscillation occurrence in general. The study shows that the emergence of oscillations of the shear stress in soil pastes is a private process, which is characteristic for rotational viscometry by evaporation from the paste in the process of experiment water. However, the fluctuations could not occur in the absence of structural transition in the humic matrix of soil gels during loss of water by the soil sample.

Keywords: soil colloids, supramolecular formation, air-dry soil water interaction.

References

1. Abrukova L.P. *Kinetika protsessov tiksotropnogo strukturoobrazovaniya v pochvennykh suspenziyakh* [Kinetics of the thixotropic structure formation in soil suspensions], *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1970, № 3, pp. 104-114.
2. Abrukova L.P. *Tiksotropnye svoystva temno-serykh lesnykh pochv* [Thixotropic properties of dark gray forest soils]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 1972, № 8, pp. 74-82.
3. Bibik E.E. *Reologiya dispersnykh sistem* [Rheology of disperse systems], Leningrad: LGU, 1981, 172 p.
4. Zhabotinskiy A.M. *Kontsentratsionnye avtokolebaniya* [Concentration self-oscillations], Moscow, Nauka, 1974. 180 p.
5. Isaev V.V. *Sinergetika dlya biologov: vvodnyy kurs* [Synergetics for biologists: an introductory course], Moscow: Nauka, 2005, 158 p.
6. Nikolis G., Prigozhin I. *Poznanie slozhnogo* [Understanding a complex], Moscow: Editorial URSS, 2003, 344 p.
7. Prigozhin I., Stengers I. *Poryadok iz khaosa. Novyy dialog cheloveka s prirodoy* [Order out of chaos. Man's new dialogue with nature], Moscow: Editorial, URSS 2003, 312 p.
8. Tyulin A.F. *Organo-mineral'nye kolloidy v pochve, ikh genezis i znachenie dlya kornevogo pitaniya vysshikh rasteniy* [Organo-mineral colloids in soils, their Genesis and significance for root nutrition of higher plants], Moscow: AN SSSR, 1958, 52 p.
9. Fedotov G.N., Dobrovol'skiy G.V. *Vozможные пути формirovaniya nano- i mikrostruktur v gumusovykh veshchestvakh pochvennykh geley* [Possible ways of formation of nano – and microstructures of humic substances in soil gels]. *Pochvovedenie* [Eurasian Soil Science], 2012, № 8, pp. 908-920.
10. Fedotov G.N., Dobrovol'skiy G.V., Shoba S.A., Pozdnyakov A.I., Puzanova A.E. *Kolebatel'nye protsessy pri vzaimodeystvii vozdušno-sukhikh pochv s vodoy* [Oscillatory processes in the interaction of air-dry soil with water], *Doklady akademii nauk* [Doklady Chemistry], 2012, T. 445, № 2, pp. 234-237.
11. Fedotov G.N., Shoba S.A. *Vliyanie strukturnogo perekhoda v gumusovoy matritse pochvennykh geley na nekotorye svoystva pochv* [Fractal clusters from the base of humic substances in soils]. *Doklady Akademii nauk* [Doklady Chemistry], 2014, T. 457, № 1, pp. 57-60.
12. Fedotov G.N., Shoba S.A. *Fraktal'nye klasteriy iz supermolekul gumusovykh veshchestv v pochvakh* [Fractal clusters from the base of humic substances in soils]. *Doklady akademii nauk* [Doklady Chemistry], 2013, T. 448, № 3, pp. 366-369.
13. Frolov Yu.G. *Strukturoobrazovanie v dispersnykh sistemakh. Reologicheskie svoystva struktur* [Structure formation in disperse systems. Rheological properties of the structures], Moscow: MKhTI, 1980, 63 p.
14. Shram G. *Osnovy prakticheskoy reologii i reometrii* [Basics of practical rheology and reometry], Moscow: KolosS, 2003, 312 p.

СТРАТЕГИЧЕСКИЕ ПРИОРИТЕТЫ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА РОССИИ

Н.Б. ПИНЯГИНА, *проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р экон. наук*⁽¹⁾,
А.А. САВИЦКИЙ, *доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. экон. наук*⁽¹⁾,
Н.С. ГОРШЕНИНА, *доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. экон. наук*⁽¹⁾

nbp50@yandex.ru, savitskiy@mgul.ac.ru, caf-elh@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал),
141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

На основе аналитического обзора современного состояния, тенденций развития и прогнозных оценок результативности отраслей лесного комплекса подтверждается необходимость разработки новой Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации. Новая Стратегия развития лесного комплекса, подчеркивается в статье, это основополагающий для отрасли документ, определяющий параметры развития лесного комплекса до 2030 г. и устанавливающий баланс между лесозаготовительными возможностями, потребностями промышленности и требованиями экологии с учетом региональных социально-экономических и природных условий. В связи с этим в статье рассматривается взаимосвязь и взаимодействие отраслевой Стратегии с другими документами стратегического планирования, включающими стратегии социально-экономического развития РФ, национальной безопасности РФ, пространственного развития РФ. Для реализации поставленных целей главными направлениями являются: развитие производств в новых для РФ сегментах, перспективных на внутреннем и внешнем рынках; модернизация традиционно развитых в РФ производств, повышение качества лесобумажной продукции. С учетом представленного в статье анализа современного состояния лесного комплекса и ключевых проблем, сдерживающих его развитие, рассматриваются три сценария развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г.: инерционный, умеренный, инновационный. Дан прогноз динамики производства и потребления основных видов продукции лесного комплекса по сценариям развития. Для достижения прогнозных результатов необходимо привлечение дополнительных инвестиций и повышение инвестиционной активности. Именно поэтому одной из обсуждаемых проблем являются вопросы инвестиционной привлекательности российского лесного комплекса и источников финансирования инвестиционных проектов в ЛПК. В статье на основании представленного материала сформулированы стратегические приоритеты развития лесного комплекса России. В настоящее время темпы развития лесного комплекса находятся в прямой зависимости от социально-экономического развития страны. Но поскольку макроэкономическая ситуация в России остается сложной, стратегия развития лесного комплекса будет осуществляться по базовому сценарию. Однако по мере ускорения социально-экономического развития России и повсеместного внедрения инновационных технических средств и технологий в лесоперерабатывающее производство развитие лесного комплекса пойдет по инновационному сценарию.

Ключевые слова: стратегия развития, лесной комплекс, прогноз, инвестиции, аналитический обзор.

Современное состояние, основные тенденции развития и прогнозные оценки результативности отраслей лесного комплекса подтверждают необходимость разработки новой Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации.

Сегодня важно определить сбалансированную модель долгосрочного развития лесной индустрии, эффективность которой будет зависеть от правильного и четкого определения целей и путей их достижения, направленных на повышение значимости лесного сектора. Новая Стратегия развития лесного комплекса – основополагающий для отрасли документ, определяющий параметры развития лесного сектора до 2030 г. и устанавливающий баланс между лесозаготовительными возможностями, потребностями промышленности и требованиями экологии

с учетом региональных социально-экономических и природных условий.

Значимость данной проблемы подчеркивается принятием Федерального закона «О стратегическом планировании в Российской Федерации № 172-ФЗ» [5], в соответствии с которым отраслевая Стратегия представляет собой документ, разрабатываемый в рамках целеполагания по отраслевому принципу на федеральном уровне, который определяет развитие сферы или отрасли, приоритеты, цели и задачи государственного управления на долгосрочный период.

Содержание отраслевой Стратегии включает следующие элементы: цели и задачи развития отрасли, сроки и этапы проведения мероприятий, ожидаемые результаты проведения мероприятий, план мероприятий на среднесрочный период.

В законе «О стратегическом планировании в Российской Федерации № 172-ФЗ» определены требования к Стратегии:

- оценка состояния отрасли;
- показатели развития отрасли по одному или нескольким вариантам прогноза социально-экономического развития РФ на долгосрочный период;
- приоритеты, цели, задачи и показатели государственного и муниципального управления и обеспечения национальной безопасности, способы их эффективного достижения и решения.

Для соблюдения и выполнения указанных требований необходима взаимосвязь и взаимодействие отраслевой стратегии с другими документами стратегического планирования, включающими стратегии социально-экономического развития РФ, национальной безопасности РФ, пространственного развития РФ.

Остановимся более подробно на Стратегии развития лесного комплекса, которая разрабатывается с учетом стратегического прогноза РФ, прогноза научно-технического развития, прогноза социально-экономического развития РФ на долгосрочный период, основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов и служит базой для разработки документов в рамках планирования и программирования.

Особый интерес представляют место и значимость лесного комплекса в прогнозе долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 г. Это исследование необходимо, потому что, несмотря на большой потенциал развития отрасли, сегодня все еще существуют серьезные барьеры, препятствующие его реализации. Доля отечественной продукции, по данным Росстата [1], в мировом потреблении не соответствует потенциалу лесопромышленного комплекса, при этом внутренний спрос на продукцию лесной отрасли невысокий, в частности на продукцию мебельной и домостроительной промышленности. Так, доля России в мировом производстве круглых лесоматериалов составляет 5,4 %; пиломатериалов – 5,3 %; листовых древесных материалов – 2,9 %; бумаги и картона – 2,2 %.

Доля России в мировом экспорте круглых лесоматериалов составляет 17,9 %; пиломатериалов – 11,6 %; листовых древесных материалов – 2,5 %; бумаги и картона – 2,5 %.

Далее рассмотрим основные направления научно-технологического развития страны, связанные с лесом:

– **биотопливо и биоэнергетика** – биотопливо и компоненты из биомассы (топливные гранулы, брикеты из древесины);

– **биотехнологические системы и продукты для лесного сектора** – средства воспроизводства и защиты леса (средства и методы сохранения и воспроизводства лесных генетических ресурсов), биотехнологические формы деревьев с заданными признаками, биологические средства защиты леса, продукты микробиологической конверсии (биоудобрения);

– **лесные биотехнологии** – создание новых сортов древесных растений с улучшенными характеристиками (структурой древесины, устойчивостью к фитопатогенам, скоростью роста и др.); микробиологические средства защиты леса от вредителей и патогенов; перспективные биотехнологические процессы комплексной переработки древесной биомассы и ее отдельных компонентов, реализованные на лабораторном уровне.

Реализация указанных направлений позволит получить следующие результаты: новые формы древесных растений с заданными признаками, посадочный материал; методы оценки качества семенного материала, мониторинга фитосанитарного состояния питомников и лесных насаждений; методы глубокой переработки древесины и утилизации отходов лесопиления; современная система управления лесонасаждениями (с привлечением методов ДНК-маркирования); биологические средства защиты леса.

Как отмечалось выше, взаимосвязь отраслевой Стратегии с другими документами стратегического планирования разрабатывается с учетом Стратегии национальной безопасности РФ, утвержденной Указом Президента РФ от 31 декабря 2015 г. № 683 и определяющей национальные интересы и стратегические национальные приоритеты Российской Федерации, цели, задачи и меры в области внутренней и внешней политики,

Значение индикаторов реализации Стратегии экологической безопасности по сценариям развития

The value of the implementation indicators of environmental Security Strategy on development scenarios

Индикатор	Значение индикатора в 2025 г. по сравнению с 2014 г.	
	пессимистический вариант	оптимистический вариант
Снижение площади лесных насаждений, подтвержденных чрезвычайным ситуациям природного и техногенного происхождения	5–10 %	15–25 %

направленные на укрепление национальной безопасности Российской Федерации и обеспечение устойчивого развития страны на долгосрочную перспективу [6–8].

Известно, что основу устойчивого развития составляют экономические, социальные и экологические направления. Именно поэтому экология живых систем и рациональное природопользование занимают важное место в Стратегии национальной безопасности РФ.

Стратегическими целями обеспечения экологической безопасности и рационального природопользования являются:

- сохранение и восстановление природных систем, обеспечение качества окружающей среды, необходимого для жизни человека и устойчивого развития экономики;
- ликвидация экологического ущерба от хозяйственной деятельности в условиях возрастающей экономической активности и глобальных изменений климата.

Достижение стратегических целей экологической безопасности и рационального природопользования осуществляется путем формирования и реализации долгосрочной государственной политики, направленной на защиту и воспроизводство природно-экологического потенциала РФ, повышение уровня экологического образования и экологической культуры граждан.

Экологическая безопасность РФ определяется состоянием отдельных природных компонентов, в том числе лесных насаждений.

Оценка прогнозных значений индикаторов реализации Стратегии экологической безопасности представлена в табл. 1.

Перечень мероприятий по реализации Стратегии экологической безопасности

Российской Федерации на период до 2025 г. включает формирование и реализацию региональных схем лесопользования, восстановление массивов наиболее ценных лесных пород, развитие технологий и средств борьбы и предотвращения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения (пожаров, нашествий лесных вредителей).

Для реализации указанной долгосрочной государственной политики разработана Стратегия экологической безопасности РФ на период до 2025 г., которая определяет приоритеты в деятельности государства и общества в области обеспечения экологической безопасности:

- сохранение и восстановление природных экосистем;
- сохранение биологического разнообразия в условиях нарастающей техногенной и в целом антропогенной нагрузки;
- регулирование роста техногенной нагрузки на окружающую среду при снижении уровня негативного воздействия на компоненты окружающей среды каждого отдельного источника негативного воздействия;
- рациональное использование, восстановление и охрана природных ресурсов.

В Стратегии изложены следующие положения о лесе:

- **внутренние угрозы экологической безопасности** – истощение лесных ресурсов из-за нерационального управления, а также из-за чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения (пожаров, нашествий лесных вредителей);
- **противодействие внутренним угрозам экологической безопасности** – разработка и реализация эффективных схем лесопользова-

ния, восстановление массивов наиболее ценных лесных пород, развитие технологии и средств борьбы и предотвращения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного происхождения (пожаров, нашествий лесных вредителей).

Таким образом, биотехнологии определены в качестве ключевых направлений инновационного развития российской экономики, наряду с информационными и нанотехнологиями, и включают следующие пути решения проблем, стоящих перед лесным сектором экономики в этой области:

- использование низкотоварной, малоценной древесины и древесных отходов для получения энергии;
- использование лесной биомассы и отходов лесопромышленного производства для получения тепловой энергии в целях перехода субъектов Российской Федерации, использующих нефтепродукты с целью теплоснабжения, на местные и возобновляемые виды топлива;
- восстановление плодородия лесных почв, загрязненных промышленным воздействием;
- создание методами биотехнологий сортов ценных дикорастущих лесных растений для целей пищевой промышленности и фармакологии.

Исходя из представленных документов можно обосновать основные направления стратегического развития лесного комплекса России и дать аналитический обзор каждого из них (рис. 1–4) [2].

– Увеличение вклада лесного комплекса в экономику (ВВП), создание рабочих мест.

На основании данных рис. 1 можно сделать вывод, что вклад лесного комплекса в экономику РФ меньше, чем ожидаемый с учетом лидирующих позиций по запасам древесины.

– Импортозамещение и увеличение доли на мировом рынке продукции лесного комплекса.

Рис. 2 отражает тенденцию снижения объема лесного комплекса РФ в мировой торговле, кроме того, 25 % внутрироссийского рынка – это импорт, 84 % которого – продукция с высокой добавленной стоимостью

– Увеличение добавленной стоимости на 1 м³ заготовленной древесины.

Данные рис. 3 подтверждают тот факт, что в РФ используется менее трети расчетной лесосеки (в странах-лидерах – 80 %) и 35 % высококачественной древесины не используется или используется не эффективно.

– Промышленное развитие богатых лесными ресурсами регионов.

Представленные на рис. 4 данные свидетельствуют о том, что в регионах, богатых лесными ресурсами, слабо развита их переработка, несмотря на то, что в этих регионах самый высокий потенциал роста лесопромышленного комплекса.

Таким образом, для достижения поставленных целей ключевыми направлениями являются: развитие производств в новых для РФ сегментах [10–19], перспективных на внутреннем и внешнем рынках; модернизация традиционно развитых в РФ производств, повышение качества лесобумажной продукции.

Разработка и реализация новой Стратегии развития лесного комплекса РФ требует глубокого аналитического обзора и оценки состояния отрасли (рис. 5–10) [1, 3, 4].

Среднегодовые индексы цен в 2015 г. по обрабатываемым отраслям увеличились на 14 % к уровню 2014 г., в том числе в декабре 2015 г. к декабрю 2014 г. на 11,2 %, в обработке древесины и производстве изделий из древесины соответственно на 8,9 % и 9,1 %; в целлюлозно-бумажном производстве на 22,7 % и 31,1 %.

В соответствии с данными Росстата [1] по росту цен производителей бумаги и картона, динамика по большинству видов продукции в целом соответствует темпам роста инфляции. На протяжении 2013–2014 гг. наблюдалось заметное отставание индексов цен на все виды бумаги и картона для печати от базового индекса потребительских цен (БИПЦ), однако в конце 2014 г. цены на бумагу значительно выросли. Если по типографской и офисной бумаге в пачках индексы цен продолжали оставаться ниже БИПЦ, то по газетной наблюдалось скачкообразное превышение в начале и конце 2015 г., а по офсетной бумаге на 6–8 % превышали БИПЦ в течение всего 2015 и в начале 2016 г.

Вместе с тем, накопленное в 2013–2014 гг. отставание от уровня инфляции цен

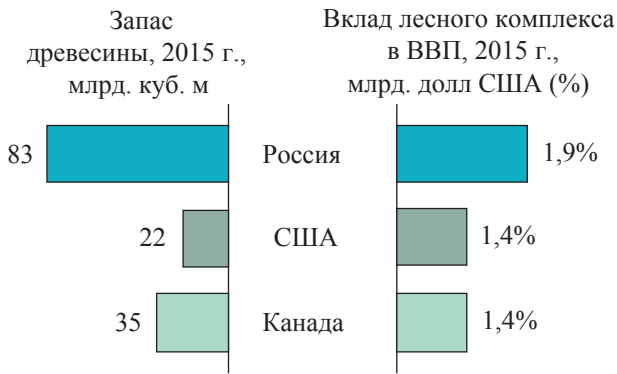


Рис. 1. Вклад лесного комплекса в экономику РФ (прогноз ФАО)
Fig. 1. The contribution of the forest complex in the Russian economy (FAO forecast)

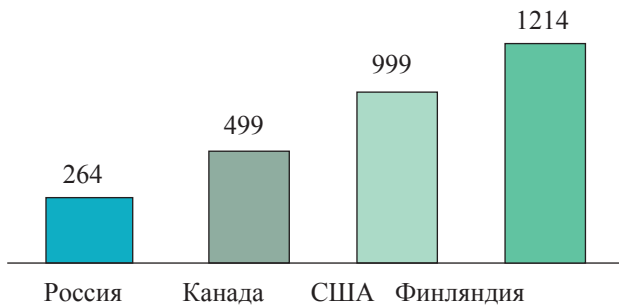


Рис. 3. Стоимость произведенной продукции, 2015 г., долл. США / м³ (прогноз ФАО)
Fig. 3. The cost of goods manufactured in 2015, US / m³ (FAO forecast) dollars

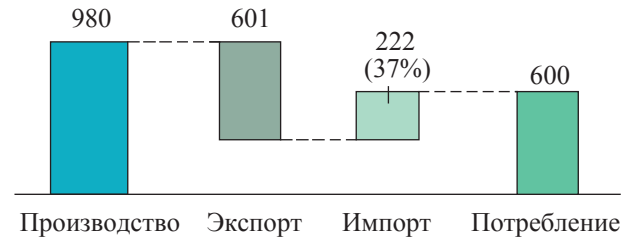


Рис. 2. Баланс производства и потребления в лесном комплексе РФ, 2015 г., млрд руб. (прогноз ФАО)
Fig. 2. The balance of production and consumption in the forest complex of the Russian Federation, 2015 billion rubles. (FAO forecast)

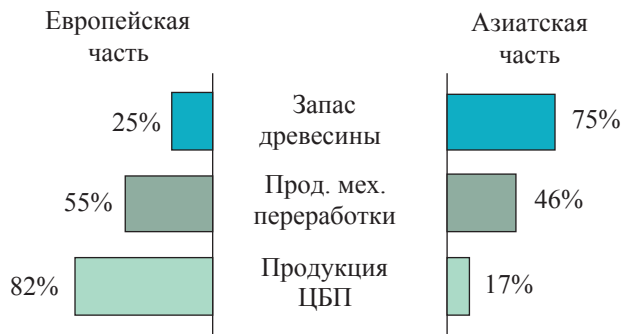


Рис. 4. Вклад регионов РФ в лесной комплекс в 2015 г., % (прогноз ФАО)
Fig. 4. The contribution of the Russian regions in the timber industry in 2015, % (FAO forecast)

на офсетную и газетную бумагу не было компенсировано их ростом в 2015 и январе–марте 2016 гг.

Цены на сырье (лесоматериалы, щепу технологическую) и отечественные химикаты для производства целлюлозно-бумажной продукции также в целом соответствовали уровню инфляции. С учетом себестоимости выпускаемой бумажно-картонной продукции определяли рост цен на бумагу и картон в пределах БИПЦ.

Таким образом, несмотря на снижение внутреннего потребления бумаги и картона на протяжении последних трех лет, цены на бумажно-картонную продукцию продолжали расти вслед за ростом цен на тарифы и услуги естественных монополий (за исключением природного газа), сырье и химикаты.

Производство пиломатериалов, по данным ретроспективного анализа, можно охарактеризовать как стабильное. Так, с 2006 г. объем производства пиломатериалов изме-

нялся незначительно, а в последние четыре года его величина практически оставалась на одном уровне (рис. 11).

Позитивная тенденция за анализируемый период наблюдается в динамике объемов производства целлюлозы, ДСП, ДВП, фанеры клееной (рис. 12–15).

Следует обратить внимание на производство OSB, которое началось в России в 2012 г. В настоящий момент установленное на российских предприятиях оборудование позволяет производить более 1 млн м² OSB в год (ДОК «Калевала», «Хиллман», Нововятский лыжный комбинат, «Кроношпан Егорьевск»). Еще ряд проектов – в стадии строительства. Даже с учетом некоторых задержек в реализации и отказом от отдельных проектов Россия, по данным Росстата [1], к 2020 г. может иметь совокупные мощности по выпуску до 2,5–3 млн м³ плит OSB в год, что значительно превышает оценки роста спроса.

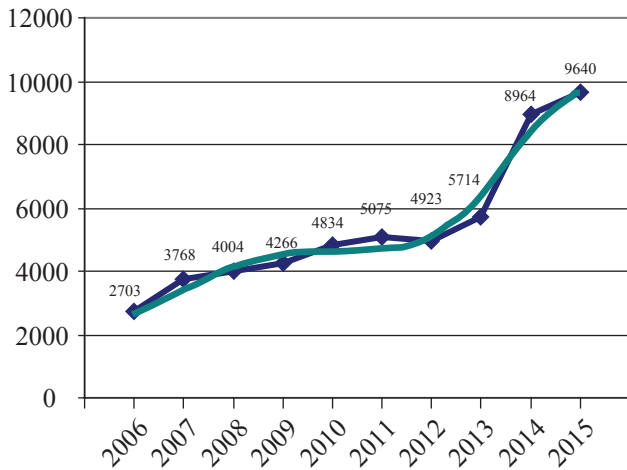


Рис. 5. Цена пиломатериалов обрезных на внутреннем рынке, руб./м³ (по данным Росстата)

Fig. 5. The price of the edged lumber on the domestic market, rub. / m³ (according to Rosstat)

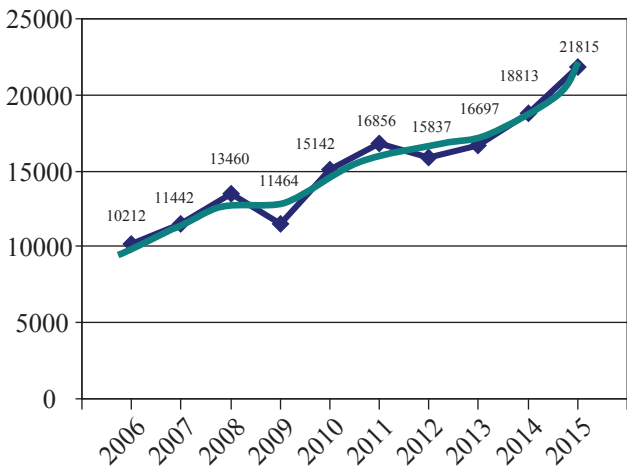


Рис. 7. Цена фанеры клееной на внутреннем рынке, руб./м³ (по данным Росстата)

Fig. 7. Price of plywood on the domestic market, rub. / m³ (according to Rosstat)

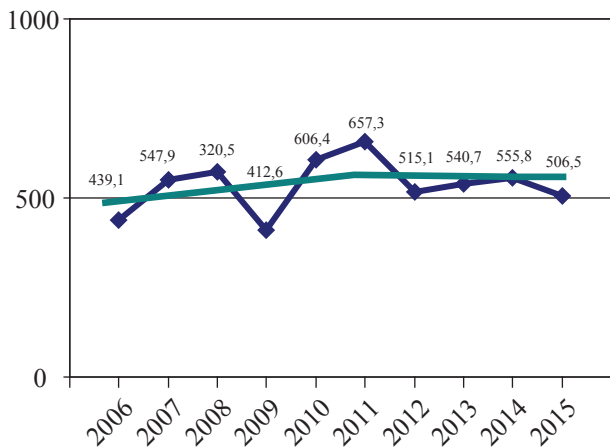


Рис. 9. Экспортная цена целлюлозы, долл./т (по данным Росстата)

Fig. 9. The export price of pulp, USD. / T (according to Rosstat)

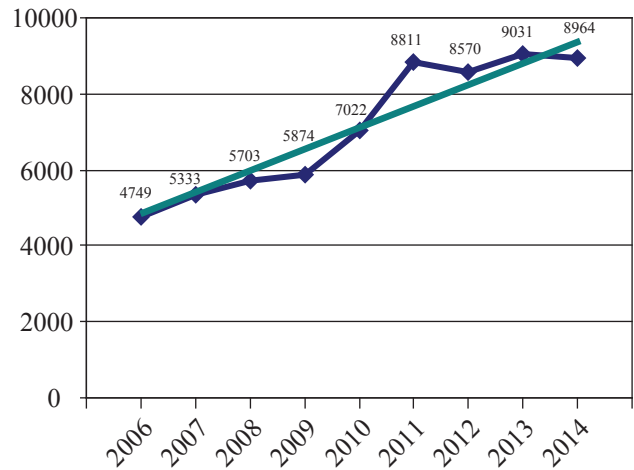


Рис. 6. Цена ДСП на внутреннем рынке, руб./м³ (по данным Росстата)

Fig. 6. Price chipboard on the domestic market, rub. / m³ (according to Rosstat)

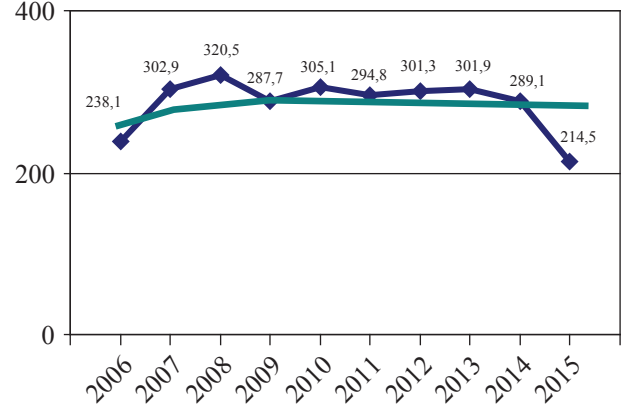


Рис. 8. Экспортная цена лесоматериалов обработанных, долл./т (по данным Росстата)

Fig. 8. The export price of processed timber, USD. / T (according to Rosstat)

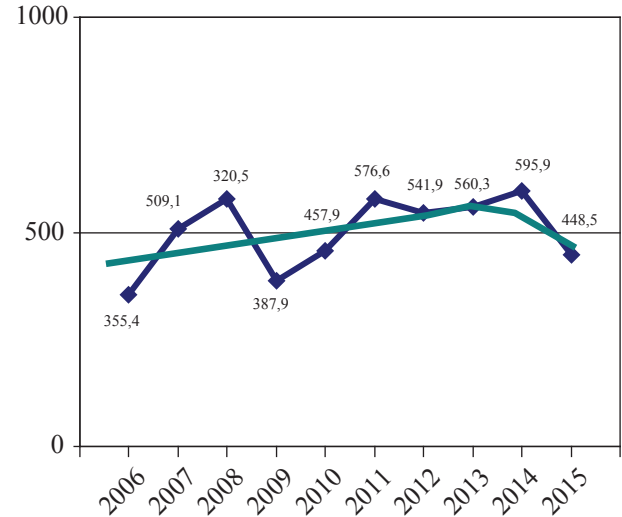


Рис. 10. Экспортная цена фанеры клееной, долл./м³ (по данным Росстата)

Fig. 10. The export price of plywood, USD. / m³ (according to Rosstat)

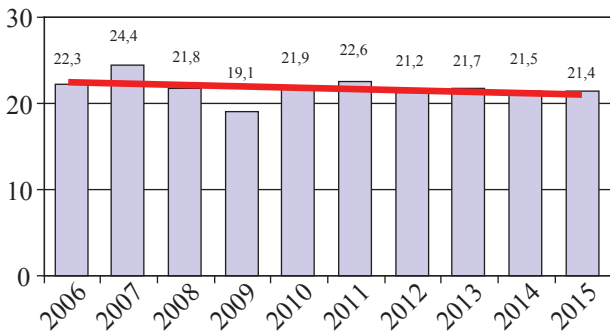


Рис. 11. Объем производства пиломатериалов, млн м³ (по данным Росстата)

Fig. 11. The volume of production of sawn timber, million m³ (according to Rosstat)

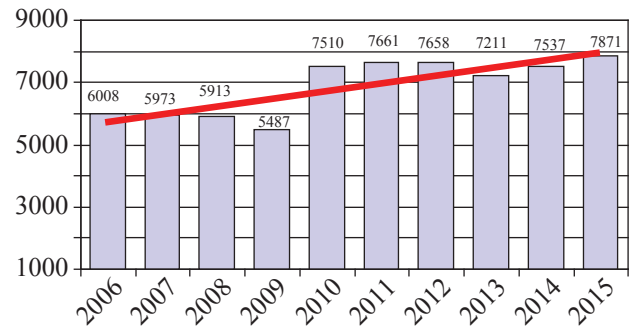


Рис. 12. Объем производства целлюлозы, тыс. т (по данным Росстата)

Fig. 12. The volume of pulp production, thous. tonnes (according to Rosstat)

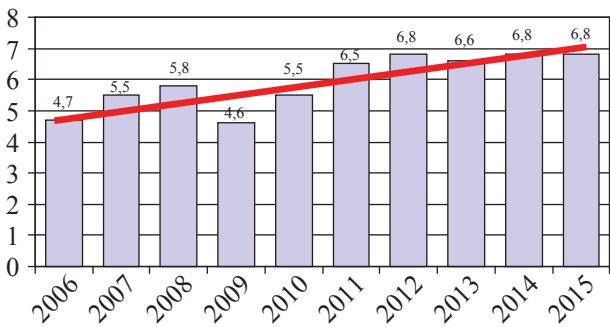


Рис. 13. Объем производства ДСП, млн м³ (по данным Росстата)

Fig. 13. The volume of production of chipboard, million m³ (according to Rosstat)

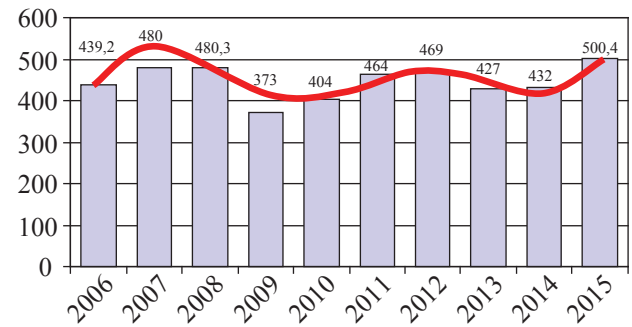


Рис. 14. Объем производства ДВП, млн м² (по данным Росстата)

Fig. 14. The volume of production of fiberboards, million m² (according to Rosstat)

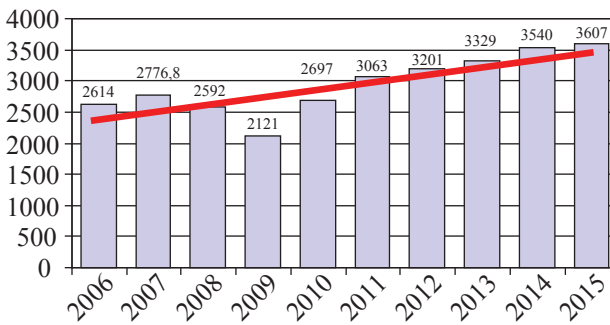


Рис. 15. Объем производства фанеры клееной, тыс. м³ (по данным Росстата)

Fig. 15. The volume of production of plywood, thous. m³ (according to Rosstat)

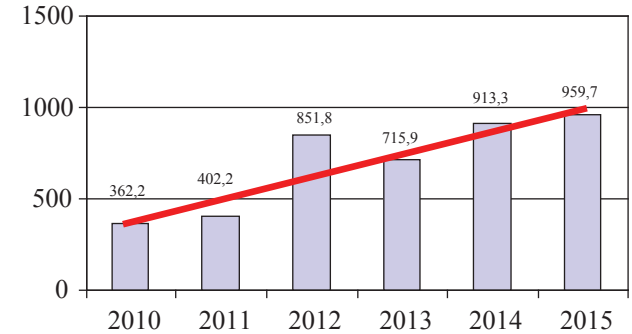


Рис. 16. Объем производства топливных гранул, тыс. т (по данным Росстата)

Fig. 16. The volume of production of fuel pellets, ths. Tons (according to Rosstat)

Важным фактором, оказавшим существенное влияние на положение дел на российском рынке древесины, стало развитие производства биотоплива. Как следствие, за период с 2010 по 2015 гг. объем производства топливных гранул увеличился в три раза (рис. 16) и эта тенденция продолжает расти, в том числе увеличиваются объемы экспорта биотоплива из России.

Аналогичная ситуация по данным Росстата [1] наблюдается и в динамике объемов экспорта лесоматериалов из России (рис. 17–20). Основными экспортными являются предприятия по производству фанеры клееной, лесоматериалов обработанных, целлюлозы, и доля экспорта указанной продукции за исследуемый период возрастает.

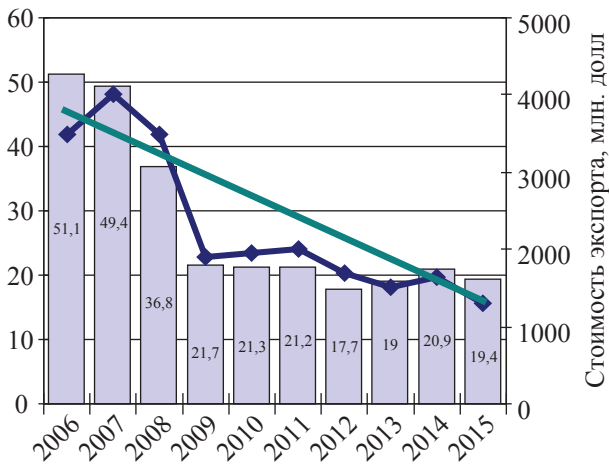


Рис. 17. Объем экспорта лесоматериалов необработанных, млн м³ (по данным Росстата)
 Fig. 17. The volume of exports of unprocessed timber, million m³ (according to Rosstat)

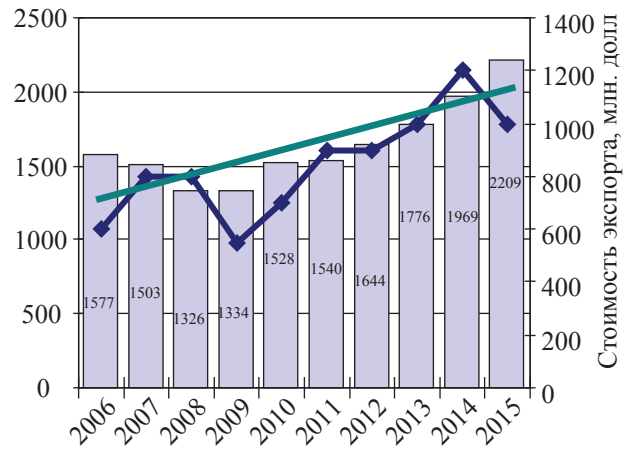


Рис. 18. Объем экспорта фанеры клееной, тыс. м³ (по данным Росстата)
 Fig. 18. The volume of exports of plywood, thous. m³ (according to Rosstat)

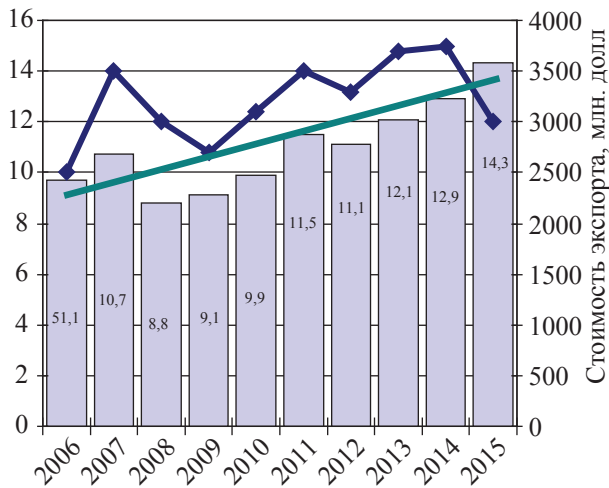


Рис. 19. Объем экспорта лесоматериалов обработанных, млн м³ (по данным Росстата)
 Fig. 19. The volume of exports of processed timber, million m³ (according to Rosstat)

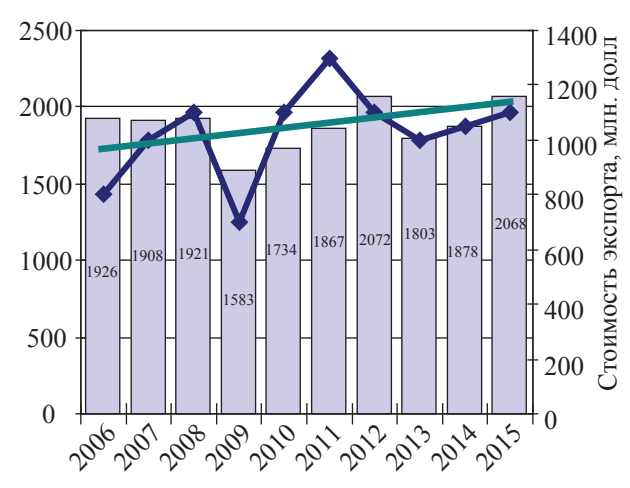


Рис. 20. Объем экспорта целлюлозы, тыс. т (по данным Росстата)
 Fig. 20. The volume of pulp exports, thous. tonnes (according to Rosstat)

Анализ современного состояния лесного комплекса, представленный выше, отражает не только позитивные его тенденции, но и ключевые проблемы, сдерживающие развитие отраслей лесного комплекса:

- **низкий уровень развития внутреннего сбыта** (относительно невысокий спрос на лесопroduкцию; высокая доля импорта на внутреннем рынке; не соответствующая потенциалу российского ЛПК доля РФ в мировой торговле лесопroduкцией);

- **инфраструктурные барьеры** (низкая плотность лесных дорог; высокие желез-

нодорожные тарифы на транспортировку лесопroduкции);

- **низкая инвестиционная привлекательность** (высокая зависимость окупаемости проектов от доступности сырья и создания необходимой инфраструктуры; высокая стоимость финансовых ресурсов, высокорискованный инвестиционный климат);

- **зависимость от импорта сырья и оборудования** (дорогостоящее импортное оборудование при отсутствии российских аналогов сопоставимого качества; отсутствие предложения на внутреннем рынке материа-

Динамика производства и потребления основных видов продукции лесного комплекса (1 вариант – консервативный сценарий, 2 – инновационный) (прогноз ФАО)
Dynamics of production and consumption of the main types of forest products complex
(Option 1 – conservative scenario, – innovative 2) (FAO forecast)

Наименование	2012	2020		2030	
		1 вариант	2 вариант	1 вариант	2 вариант
Производство основных видов продукции лесного комплекса					
Заготовка древесины, млн м ³	82,5	244,5	269,5	278,4	362,0
Пиломатериалы, тыс. м ³	8,8	24,2	32,2	32,0	38,7
Фанера клееная, тыс. м ³	150,0	3635,9	3966,2	3977,0	6140,0
Целлюлоза товарная, тыс. т	397,1	3085,9	3220,0	3224,3	4750,0
Бумага и картон, тыс. т	660,0	9594,1	10753,8	9787,8	14252,6
Потребление основных видов продукции лесного комплекса					
Заготовка древесины, млн м ³	109,4	148,2	169,6	167,5	220,9
Пиломатериалы, тыс. м ³	8,1	8,8	10,9	10,0	16,5
Фанера клееная, тыс. м ³	1797,5	2074,8	2092,1	2495,3	3635,8
Целлюлоза товарная, тыс. т	393,5	544,7	566,0	623,1	914,0
Бумага и картон, тыс. т	7144,5	9597,8	11432,7	13978,7	25611,7

лов необходимого качества для ряда производств);

– **дефицит высококвалифицированных кадров** (низкая привлекательность сектора для специалистов; отсутствие координации между программами обучения и потребностями сектора);

– **недостаточное финансирование НИОКР** (разнонаправленность и низкая коммерциализация НИОКР).

С учетом изложенного рассматриваются три сценария стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г:

– **инерционный сценарий** – базируется на тенденциях прошлых лет;

– **умеренный сценарий** – предполагает умеренное экономическое развитие и по своей природе является переходным от инерционного к инновационному развитию;

– **инновационный сценарий** – представляет собой наиболее благоприятную альтернативу: относительно высокий и стабильный экономический рост, меры государственной поддержки, стимулирование потребления лесопродукции, совершенствование структуры внешней торговли, увеличение доли глубокой переработки древесины.

Прогноз динамики производства и потребления основных видов продукции лесного

комплекса по сценариям развития представлен в табл. 2 (прогноз ФАО), рис. 21–26 [2].

В результате реализации инновационного сценария:

– производство круглого леса в Российской Федерации увеличится с 143 млн м³ в 2010 г. в 1,6–2,1 раза и составит в 2030 г. свыше 300 млн м³;

– производство пиломатериалов увеличится с 24,7 млн м³ в 2010 г. в 1,5–2,7 раз;

– рост производства фанеры увеличится с 2,7 млн м³ в 2010 г. в 1,5–2,1 раза к 2030 г.;

– производство ДСП увеличится с 5,4 млн м³ в 2010 г. в 1,6–2,1 раза к 2030 г.

Для достижения прогнозных результатов необходимо привлечение дополнительных инвестиций и повышение инвестиционной активности. Именно поэтому одна из обсуждаемых проблем сегодня – это вопросы инвестиционной привлекательности российского лесного комплекса и источников финансирования инвестиционных проектов в ЛПК.

Представленные данные свидетельствуют об увеличении объема инвестиций, привлекаемых для реализации инвестиционных проектов и положительной динамике действующих приоритетных инвестиционных проектов.

В 2015 г., по оценкам Росстата [1], использовано в целом по стране 10277 млрд

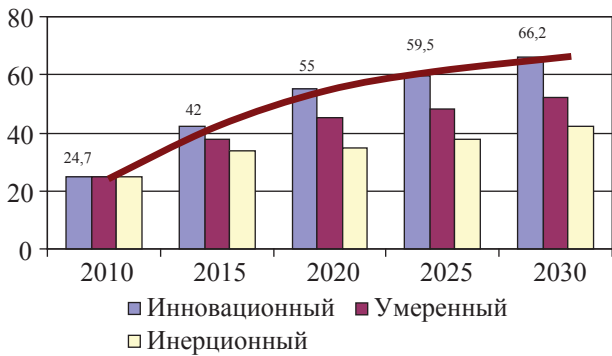


Рис. 21. Объем производства пиломатериалов, млн м³ (Расчет с учетом поправки на неформальную деятельность в 2010 г. (прогноз ФАО))

Fig. 21. The volume of sawn timber production, million m³ (Calculation adjusted for informal activity in 2010 (FAO forecast))

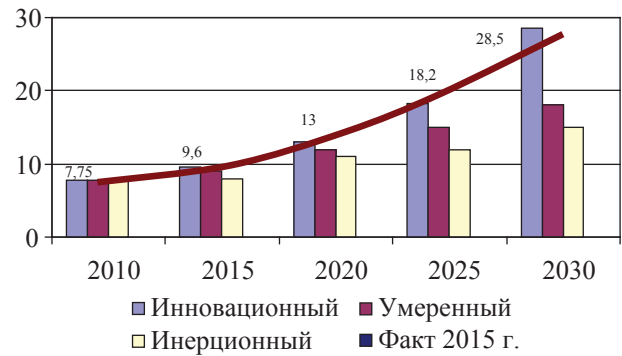


Рис. 22. Объем производства бумаги и картона, млн т (прогноз ФАО)

Fig. 22. The volume of paper and paperboard production, million tons (FAO forecast)

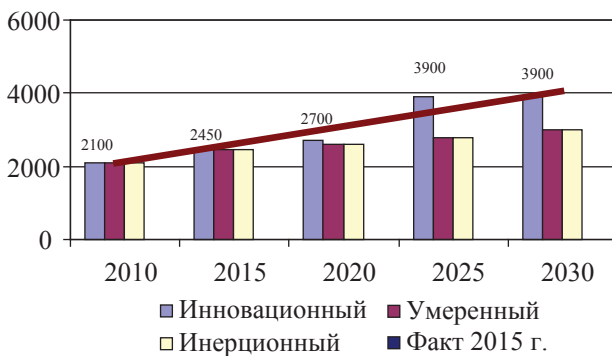


Рис. 23. Объем производства товарной целлюлозы, тыс. т (прогноз ФАО)

Fig. 23. Market pulp production, thous. Tons (FAO forecast)

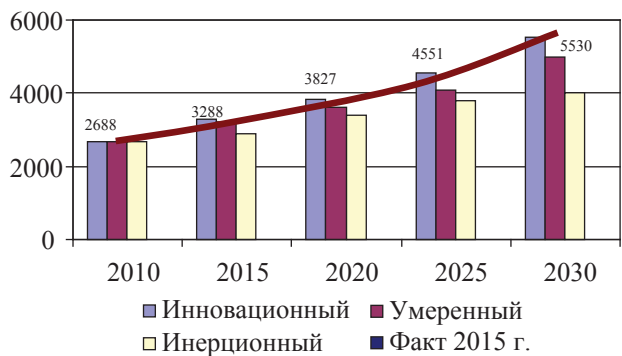


Рис. 24. Объем производства фанеры клееной, тыс. м³ (прогноз ФАО)

Fig. 24. The volume of production of plywood, thous. m³ (FAO forecast)

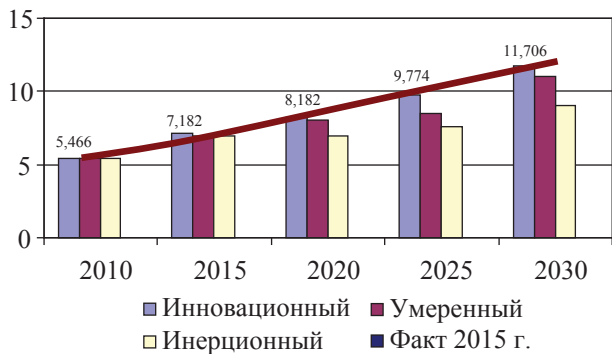


Рис. 25. Объем производства ДСП, млн м³ (прогноз ФАО)

Fig. 24. The volume of production of plywood, thous. m³ (FAO forecast)

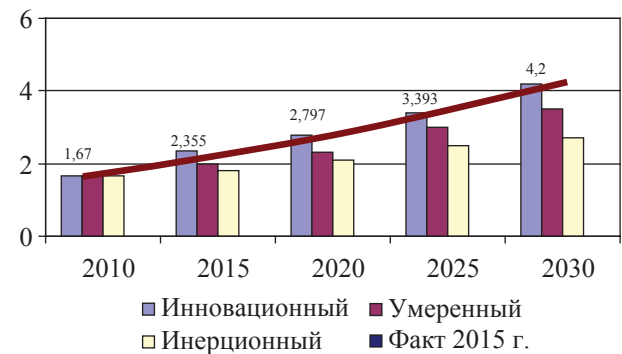


Рис. 26. Объем производства ДВП, млн м³ (прогноз ФАО)

Fig. 26. The volume of production of hardboard, million m³ (FAO forecast)

руб. инвестиций в основной капитал по «чистым» видам экономической деятельности, что практически на уровне 2014 г. (снижение 1,0 %). В то же время в ЦБП наблюдался рост вложений в производство целлюлозы, древесной массы и картона, снижение инвес-

тиций в производство бумаги и большинства видов изделий из бумаги и картона – обоев, санитарно-гигиенических, гофротары, писчебумажных и т. д. Доля ЛПК в общем объеме инвестиций в 2015 г. составила 0,85 %, в том числе по ЦБП – 0,32 %.

Инвестиции в основной капитал по «чистым» видам экономической деятельности по крупным и средним организациям за 2015 г. (по данным Росстата)

Investments in fixed capital by «pure» economic activities of large and medium organizations for 2015 (according to Rosstat)

Виды деятельности	Использовано, тыс. руб.		2015/ 2014, %	Индекс физического объема инвестиций в основной капитал за 2015 год, %	Удельный вес в общем объеме инвестиций в основной капитал за 2015 год, %
	за 2015 год	за 2014 год			
Всего	10277159139	10383675677	99,0	89,8	100,00
Лесозаготовки	9413066	6259076	150,4	132,4	0,09
Обрабатывающие производства	1864355960	1806767 379	103,2	90,5	18,14
Обработка древесины и производство изделий из дерева и пробки, кроме мебели	42399501	39 840 541	106,4	93,8	0,41
Производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них	32875410	32875282	100,0	88,3	0,32
Производство целлюлозы и древесной массы	7559799	5620464	134,5	118,8	0,07
Производство бумаги	8011233	7667437	104,5	92,3	0,08
Производство картона	5791445	4280904	135,3	119,5	0,06
Производство изделий из бумаги и картона	11512933	15306477	75,2	66,4	0,11
Производство гофрированного картона, бумажной и картонной тары	3723235	4741339	78,5	69,3	0,04
Производство бумажных изделий хозяйственно-бытового и санитарно-гигиенического назначения	6294853	8844159	71,2	62,8	0,06
Производство писчебумажных изделий	35391	44888	78,8	69,6	0,00
Производство обоев	491997	1109526	44,3	39,2	0,00
Производство прочих изделий из бумаги и картона	967457	566565	170,8	150,8	0,01
Производство мебели	2867971	10252666	28,0	24,4	0,03
Обработка отходов бумаги и картона	12543	7131	175,9	156,4	0,00

Удельный вес в общем объеме инвестиций в производство целлюлозы, древесной массы, бумаги, картона и изделий из них за 2015 год составил:

- собственные средства – 55,1 %,
- привлеченные средства – 44,9 %, в том числе:
- кредиты банков – 9,1 % (из них иностранных банков – 3,4 %),
- инвестиции из-за рубежа – 33,5 %.

Введение рядом стран Евросоюза экономических санкций против Российской Федерации продолжало оказывать заметное влияние на сокращение объема инвестиций в российскую экономику (табл. 3, рис. 27) (по данным Росстата). Важно отметить, что при выборе сценария развития лесного сектора

необходимо учитывать задачи, которые решает каждый из них в области воспроизводства, охраны и защиты лесов.

Так, *инерционный сценарий* решает задачи защиты лесов от пожаров, вредителей, болезней и охраны леса от лесонарушений.

Умеренный сценарий делает основной упор на сбалансированность рубок и лесовосстановления в рамках сложившегося пространственного размещения лесного комплекса, направлен на предотвращение нежелательной смены пород и качественное улучшение лесоресурсного потенциала на базе региональных систем ведения лесного хозяйств.

Инновационный сценарий развития лесного хозяйства представляет собой про-

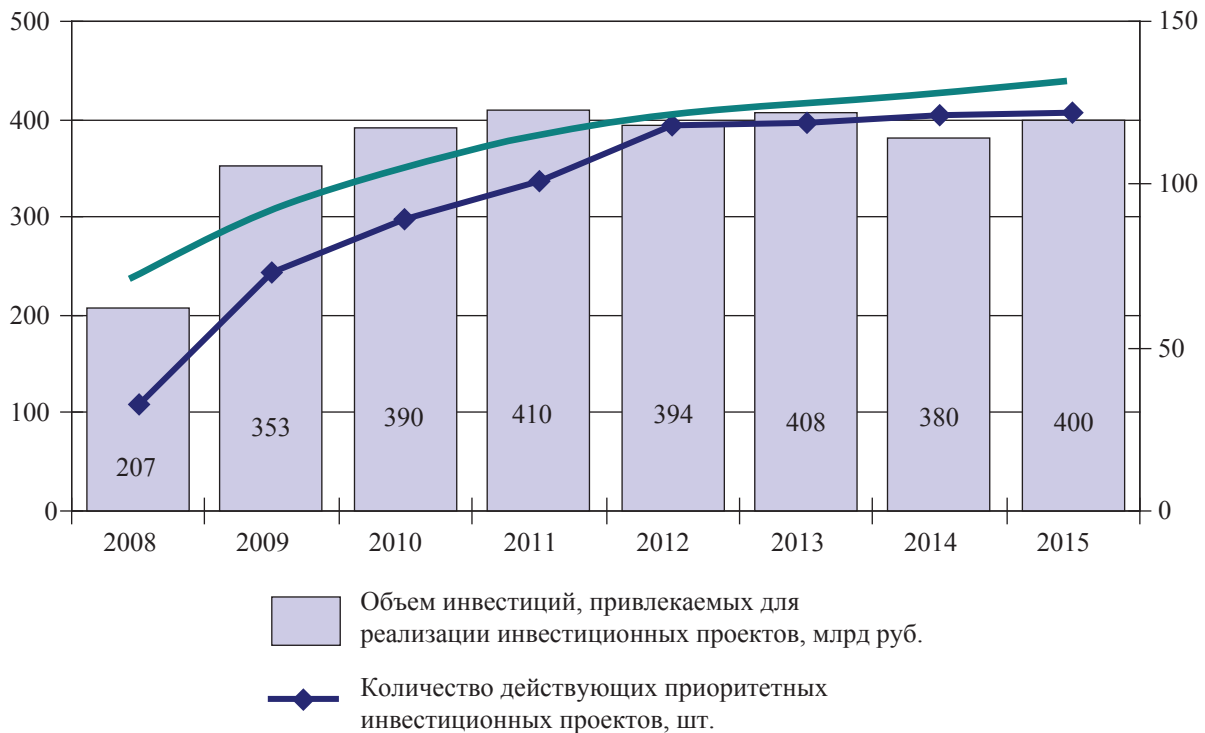


Рис. 27. Инвестиционные проекты в области освоения лесов (по данным Росстата)
 Fig. 27. Investment projects in forest exploitation (according to Rosstat)

странственно-структурную перестройку отраслей лесного сектора. При этом на первый план выдвигаются следующие приоритеты:

- повышение занятости населения,
- приближение производства к центрам потребления,
- развитие переработки древесины,
- кооперация мелкого, среднего и крупного бизнеса,
- организация многоресурсного лесоправления,
- стратегическое расширение защитного лесоразведения,
- усиление роли государства и общества в управлении лесами,
- совершенствование экономического механизма реализации федеральных и целевых программ.

В заключение необходимо отметить, что в настоящее время темпы развития лесного комплекса находятся в прямой зависимости от социально-экономического развития страны. Но поскольку макроэкономическая ситуация в России остается сложной, стратегия развития лесного комплекса будет осуществляться по базовому сценарию. Однако

по мере ускорения социально-экономического развития России и повсеместного внедрения инновационных технических средств и технологий в лесоперерабатывающее производство развитие лесного комплекса пойдет по инновационному сценарию.

Библиографический список

1. Росстат, 2016.
2. Прогноз ФАО.
3. Итоги работы целлюлозно-бумажной промышленности России в 2015 г. – Аналитический отчет РАО «БУМП-РОМ». – М., 2016.
4. Прогноз лесного сектора Российской Федерации до 2030 года. – Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций. – Рим, 2012.
5. Федеральный закон «О стратегическом планировании в Российской Федерации» № 175-ФЗ.
6. Концепции долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2020 года, утв. расп. Правительства РФ от 17.11.2008 г. № 1662-р.
7. ГП РФ «Развитие лесного хозяйства» на 2013–2020 годы, утв. пост. Правительства РФ от 15.04.2014 г. № 318.
8. ГП РФ «Развитие промышленности и повышения ее конкурентоспособности» утв. пост. Правительства РФ от от 15.04.2014 г. № 328.
9. Комплексная программа развития биотехнологий в РФ на период до 2020 года, утв. поручением Правительства РФ от 24.04.2012 г. № ВП-П8-2322.
10. Савицкий, А.А. Экономическая оценка инвестиций лесного сектора : учеб. пособие / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина. – М.: МГУЛ, 2013. – 618 с.

11. Савицкий, А.А. Управление инвестициями: теория и практика : практикум / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина. – М.: МГУЛ, 2013. – 110 с.
12. Запруднов, В.И. Исследования перспектив развития лесопромышленного комплекса России в современных условиях / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 5. – С. 60–73.
13. Запруднов, В.И. Тенденции и перспективы развития лесопромышленного комплекса России / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2011. – № 6. – С. 106–116.
14. Савицкий, А.А. Анализ инвестиционной деятельности лесного комплекса России за период 2005–2012 гг. / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2013. – № 4. – С. 206–211.
15. Савицкий, А.А. Анализ показателей работы целлюлозно-бумажной промышленности России в период 2007– I полугодие 2013 гг. / А.А. Савицкий // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 6–11.
16. Запруднов, В.И. Современное состояние лесного сектора Российской Федерации, задачи и перспективы развития лесозаготовительной промышленности / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 81–102.
17. Савицкий, А.А. Условия и факторы роста инвестиций в модернизацию лесного сектора / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2014. – № 3. – С. 160–172.
18. Запруднов, В.И. Аналитический обзор современного состояния и перспективы научно-инновационного развития лесопромышленного комплекса / В.И. Запруднов, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2015. – № 1. – С. 160–172.
19. Савицкий, А.А. Инвестиционная деятельность в лесном секторе. Теория и практика : практикум / А.А. Савицкий, Н.Б. Пинягина, Н.С. Горшенина. – М.: МГУЛ, 2015 – 196 с.

STRATEGIC PRIORITIES OF FOREST COMPLEX OF RUSSIA

Pinyagina N.B., Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Econ.)⁽¹⁾; **Savitskiy A.A.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Tehn.)⁽¹⁾; **Gorshenina N.S.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Tehn.)⁽¹⁾

nbp50@yandex.ru, savitskiy@mgul.ac.ru, caf-elh@mgul.ac.ru
⁽¹⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch),
 1 st. Institutetskaya, Mytishchi, Moscow reg., Russia, 141005

On the basis of an analytical review of the current state, development trends and forecast performance evaluations of the branches of the forest complex the need to develop a new Strategy for the forest complex of the Russian Federation has been confirmed. The New Strategy for forest sector development is a fundamental document for the industry, defining the parameters of the forest sector development up to 2030 and establishing a balance between logging capabilities, the needs of industry and environmental requirements with regard to regional socio-economic and environmental conditions. In this regard, the article discusses the relationship and interaction of the sectoral Strategy with other strategic planning documents, including the strategies of the socio-economic development, national security, the spatial development of the Russian Federation. To achieve the goals the main areas of action are: the development of production in the segments perspective on domestic and foreign markets the Russian Federation has not worked with yet; the modernization of traditional industries for the Russian Federation, increasing the quality of wood and paper products. In the light of the analysis of the current state of the forestry sector and the key problems hindering its development, three scenarios for the development of the Russian forest complex up to 2030 are considered: the inertia, the moderate, the innovative ones. The forecast of the dynamics of production and consumption of major products of the forest complex development scenarios has been given. In order to achieve the forecasted results it is necessary to attract additional investments and increase the investment activity. That is why one of the issues discussed is the issue of investment attractiveness of the Russian forest sector and sources of financing for the investment projects in the timber industry. On the basis of the material presented in the article strategic priorities for development of the forest sector of Russia have been formulated. At present the rates of the forest sector development are directly dependent on the socio-economic development of the country. But as the macroeconomic situation in Russia remains difficult, the development strategy of forest complex will be the baseline scenario. However, as the acceleration of socio-economic development of Russia and the widespread introduction of innovative technical means and technologies in wood processing production of forest complex development go on, innovation scenario would be introduced.

Key words: development strategy, forest complex, forecast, investments, analytical review.

References

1. *Rosstat, 2016* [Federal State Statistics Service, in 2016].
2. *Prognoz FAO* [FAO forecast].
3. *Itogi raboty tsellyulozhno-bumazhnoy promyshlennosti Rossii v 2015 g.* [Results of the pulp and paper industry in Russia in 2015]. Analiticheskiy otchet RAO «BUMPROM» [Analytical Report «Bumprom»], Moscow, 2016.
4. *Prognoz lesnogo sektora Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda* [Forecast of forest sector of the Russian Federation until 2030]. Prodovol'stvennaya i sel'skokhozyaystvennaya organizatsiya Ob"edinennykh Natsiy [Food and Agriculture Organization of the United Nations]. Rome, 2012.
5. *Federal'nyy zakon «O strategicheskoy planirovaniy v Rossiyskoy Federatsii» № 175-FZ* [Federal Law “On the strategic planning in the Russian Federation»], № 175-FZ.

6. *Kontseptsii dolgosrochnogo sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya RF na period do 2020 goda, utv. rasp. Pravitel'stva RF ot 17.11.2008 g. № 1662-r* [Concept of long-term socio-economic development of the Russian Federation for the period until 2020, approved. crucified. Russian Federation Government Decree of 17.11.2008, № 1662-p].
7. *Gosudarstvennaya programma «Razvitie lesnogo khozyaystva» na 2013–2020 gody, utv. post. Pravitel'stva RF ot 15.04.2014 g. № 318* [State program of the Russian Federation “Development of forestry” for 2013-2020, approved. fast. Russian Federation Government Decree of 04.15.2014, the number 318].
8. *Gosudarstvennaya programma «Razvitie promyshlennosti i povysheniya ee konkurentosposobnosti» utv. post. Pravitel'stva RF ot 15.04.2014 g. № 328* [State program of the Russian Federation “Development of industry and improve its competitiveness,” approved. fast. RF Government Resolution of 15.04.2014, the number 328].
9. *Kompleksnaya programma razvitiya biotekhnologiy v RF na period do 2020 goda, utv. porucheniem Pravitel'stva RF ot 24.04.2012 g. № VP-P8-2322* [A comprehensive program of development of biotechnology in the Russian Federation for the period until 2020, approved. request of the Russian Government dated 24.04.2012, the number of VP-P8-2322].
10. Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Ekonomicheskaya otsenka investitsiy lesnogo sektora* [Economic assessment of forest sector investments], Moscow: MSFU, 2013, 618 p.
11. Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Upravlenie investitsiyami: teoriya i praktika* [Investment Management: Theory and Practice], Moscow: MSFU, 2013, 110 p.
12. Zaprudnov V.I., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Issledovaniya perspektiv razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Rossii v sovremennykh usloviyakh* [Outlook Study Russian timber industry in modern conditions], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2012, № 5, pp. 60-73.
13. Zaprudnov V.I., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Tendentsii i perspektivy razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa Rossii* [Tendencies and prospects of development of the timber industry complex of Russia], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2011, № 6, pp. 106-116.
14. Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Analiz investitsionnoy deyatel'nosti lesnogo kompleksa Rossii za period 2005–2012 gg.* [An analysis of investment activity of Russian forest complex in the period 2005-2012 gg.], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2013, № 4, pp. 206-211.
15. Savitskiy A.A. *Analiz pokazateley raboty tsellyulozno-bumazhnoy promyshlennosti Rossii v period 2007– I polugodie 2013 gg.* [Analysis of the performance of the pulp and paper industry in Russia in the period of 2007-I half of 2013], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2014, № 3, pp. 6-11.
16. Zaprudnov V.I., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Sovremennoe sostoyanie lesnogo sektora Rossiyskoy Federatsii, zadachi i perspektivy razvitiya lesozagotovitel'noy promyshlennosti* [The current state of the forest sector of the Russian Federation, objectives and prospects of development of the logging industry], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2014, № 3, pp. 81-102.
17. Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Usloviya i faktory rosta investitsiy v modernizatsiyu lesnogo sektora* [Conditions and factors of growth of investments in the modernization of forest sector], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2014, № 3, pp. 160-172.
18. Zaprudnov V.I., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Analiticheskiy obzor sovremennogo sostoyaniya i perspektivy nauchno-innovatsionnogo razvitiya lesopromyshlennogo kompleksa* [Analytical review of the current state and prospects of scientific and innovative development of the timber industry complex], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2015, № 1, pp. 160-172.
19. Savitskiy A.A., Pinyagina N.B., Gorshenina N.S. *Investitsionnaya deyatel'nost' v lesnom sektore. Teoriya i praktika* [Investment activity in the forest sector. Theory and Practice], Moscow: MSFU, 2015, 196 p.

УДК 674*416

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА СМЕШАННОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ НА ШПОН

А.Н. ЧЕМОДАНОВ, проф. ПГТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
Ренат Х. ГАЙНУЛЛИН, доц. ПГТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
Ришат Х. ГАЙНУЛЛИН, асп. ПГТУ⁽¹⁾

chemodanovan@volgatch.net, gainyllinrh@yandex.ru, rishat_000@mail.ru
⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет»,
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3

Описаны принципиальные отличия способов получения строганного шпона. Даны сведения о проведенных ранее экспериментальных исследованиях процесса получения шпона. Представлена методика экспериментальных исследований при смешанном строгании древесины на шпон, а также экспериментальная установка и алгоритм проведения эксперимента. Показаны типичные осциллограммы процесса смешанного строгания древесины вращающимся механизмом резания. Приведены результаты экспериментальных исследований по определению усилий смешанного резания на шпон при разных степенях обжима и разной толщине получаемого шпона. На основе полученных данных составлено уравнение регрессии первого порядка по полному факторному плану и определены коэффициенты, учитывающие толщину шпона и степень обжима. Полученное уравнение регрессии необходимо для оптимизации энергосиловых показателей процесса смешанного строгания древесины при получении шпона. Анализ расчетных и экспериментальных значений усилия резания и проверка принятой математической модели на адекватность, подтвердили адекватность математической модели. Точность полученного выражения для определения усилия резания достаточная, ошибка не превышает 10 %. Для расширения сферы использования полученных результатов необходимо проведение дальнейших исследований с учетом изменения толщины шпона и степени обжима. Результаты статьи найдут как теоретическое, так и практическое применение, особенно при проектировании нового деревообрабатывающего оборудования для строгания древесины на шпон. Для выработки рекомендаций по дальнейшему практическому применению смешанного строгания предусматривается в последующем особое внимание обратить на энергоёмкость процесса строгания и качество поверхности строганного шпона. Это наиболее важные показатели, определяющие конкурентоспособность смешанного строгания по сравнению с другими способами.

Ключевые слова: древесина, шпон, смешанное строгание, экспериментальная установка, уравнение регрессии, поправочные коэффициенты, толщина шпона, степень обжима.

В настоящее время для получения строганного древесного шпона применяют различные способы в зависимости от того, где будет использоваться конечный продукт. Способы получения шпона имеют принципиальные отличия, в частности заключающиеся в направлении движения режущего органа относительно волокон древесины. Например, при процессе продольного строгания движение режущего блока направлено вдоль волокон древесины, при процессе поперечного строгания режущий блок двигается перпендикулярно волокнам, а при смешанном резании древесины на шпон рабочий орган совершает вращательное движение. Наиболее исследованными являются способы поперечного и продольного строгания древесины на шпон [1–4].

В связи с этим представляет определенный теоретический и практический интерес исследование влияния толщины шпона и степени его обжима на энергосиловые харак-

теристики процесса смешанного строгания древесины.

Целью настоящей работы является обоснование методики экспериментальных исследований и оценки процесса смешанного резания древесины на шпон. Для этого поставлены следующие **задачи**: создать и описать экспериментальную установку и принцип ее работы, разработать методику экспериментальных исследований, получить уравнение регрессии зависимости усилия резания от толщины шпона и степени его обжима при смешанном строгании древесины.

В процессе исследования смешанного резания использовались образцы древесины сосны шириной 50 мм, длиной 200 мм, влажностью 20 %, измеряемой влагомером ИВ 1-1, а температура в помещении была постоянной и равнялась 20 °С.

Для определения минимального числа наблюдений и закона распределения случайных величин согласно методике [5, 6], прово-

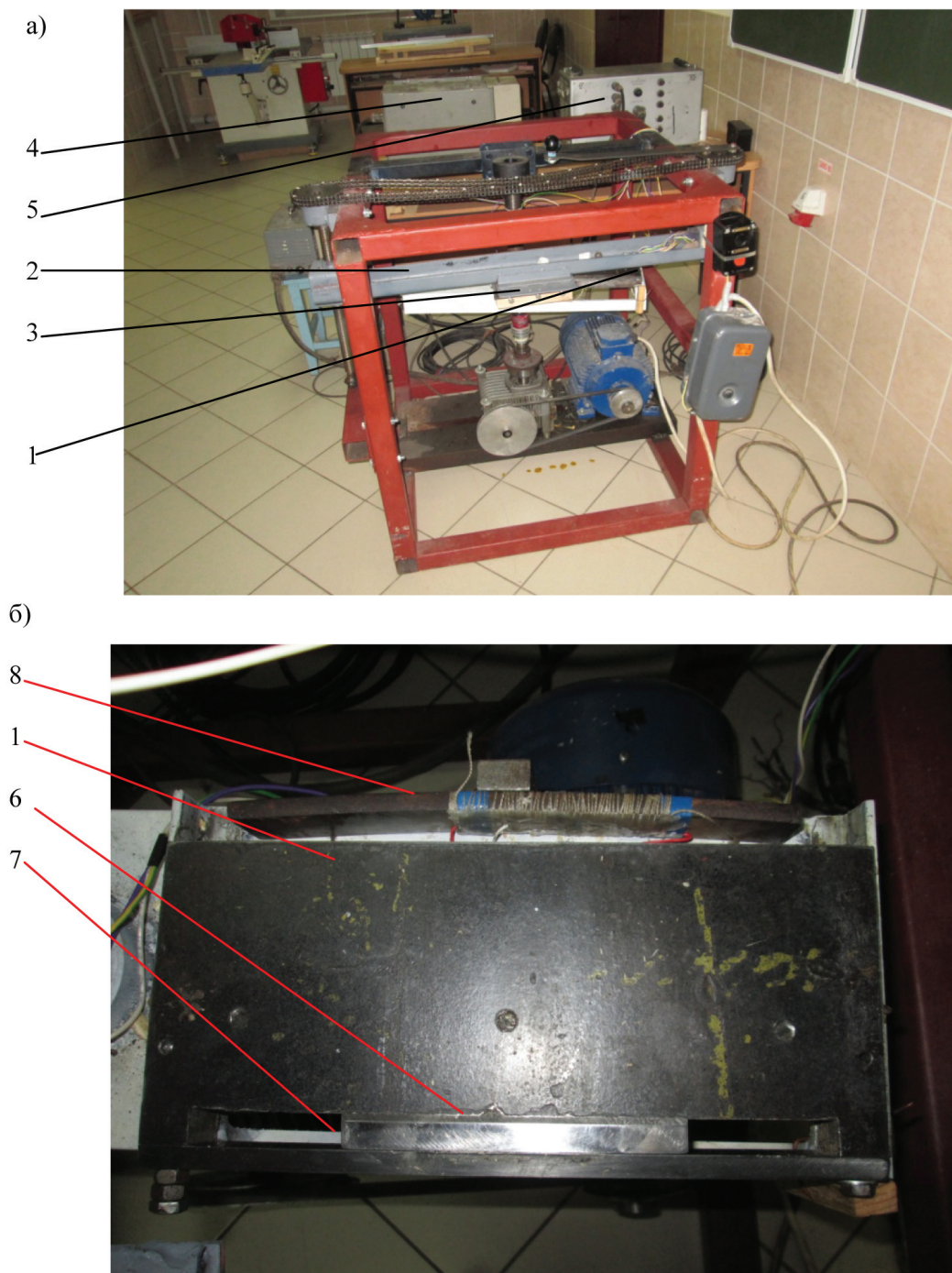


Рис. 1. Экспериментальная установка: а) общий вид: 1 – режущий орган; 2 – подающий механизм; 3 – заготовка; 4 – осциллограф; 5 – усилитель; б) режущий орган: 6 – нож; 7 – прижимная линейка; 8 – тензометрическая балка.

Fig. 1. Experimental setup: а) a general view: 1 - cutting body; 2 - feeding mechanism; 3 - harvesting; 4 - Oscilloscope; 5 - amp; б) the cutting body: 6 - knife; 7 - cloth press; 8 - Strain gauge beam

дились предварительные испытания. Необходимое количество наблюдений случайной величины, которое соответствует нормальному закону распределения, рассчитывалось по формуле

$$n = t^2 S^2 / \Delta^2, \quad (1)$$

где t – значение t -критерия Стьюдента, выбираемое в зависимости от уровня значимости и числа степеней свободы;

S^2 – дисперсия выборки;

Δ – допустимое отклонение.

Результаты экспериментальных данных
The results of the experimental data

№ опыта	Толщина шпона $h_{ш}$, мм	Степень обжима Δ , %	Сила резания P_x , Н	Дисперсия опыта σ^2
1	1,0	10	365	669,18
2	1,0	15	378	569,14
3	1,0	20	395	447,96
4	1,5	10	409	281,05
5	1,5	20	443	343,04
6	2,0	10	526	594,50
7	2,0	15	544	1294,32
8	2,0	20	575	3079,28

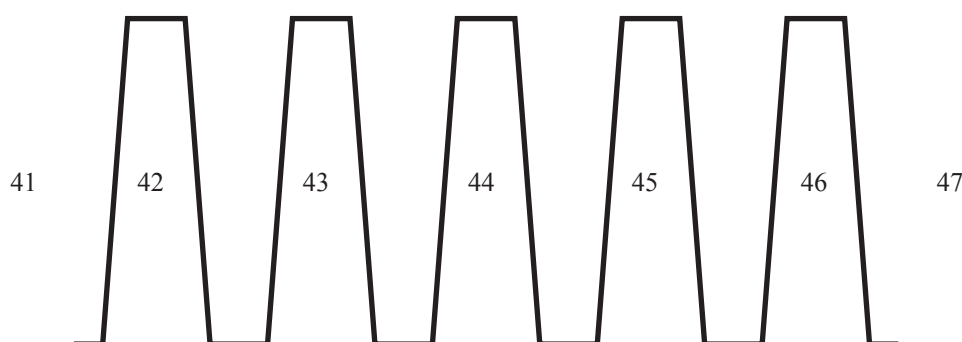


Рис. 2. Типичные осциллограммы процесса смешанного строгания древесины вращающимся механизмом резания

Fig. 2. Typical waveforms of the mixed process of planing of wood rotary cutting mechanism

Необходимое количество наблюдений составило 26.

Для замера усилия резания при смешанном резании древесины на шпон был использован электротензометрический метод [6], принцип которого заключен в измерении напряжений и усилий при помощи преобразователей (тензодатчиков) механических величин в электрические.

Экспериментальная установка представлена на рис. 1.

Экспериментальная установка состоит из физической модели шпонострогального станка с вращательным движением режущего органа 1, подающего механизма 2, который перемещает заготовку 3, осциллографа 4, усилителя 5, ножа 6 и прижимной линейки 7, а также тензометрической балки 8 [8–10].

Процесс проведения эксперимента происходит по следующему алгоритму. После запуска электродвигателя шпонострогального станка приводной вал вращает траверсу с установленным на ней режущим органом

1, который с помощью ножа 6 и прижимной линейки 7 срезает лист шпона с заготовки 3, которая установлена под подающим механизмом 2. Режущий орган в процессе резания перемещается по направляющим от действия усилия резания, тем самым оказывает усилие на тензометрическую балку 8. От датчиков, монтированных в тензометрическую балку, передается сигнал к усилителю 5 и далее переходит к осциллографу 4, с помощью которого происходит регистрация выходного сигнала на фотографической бумаге.

При тарировке тензометрической балки с учетом коэффициента тарировки определялись усилия при резании древесины. Опыты проводились при двух переменных факторах: степень обжима древесины (10 %, 15 %, 20 %) и толщина срезаемого слоя (1 мм, 1,5 мм, 2 мм). Каждый опыт включал в себя 26 резов, после проводилась расшифровка осциллограмм (рис. 2), и расчет среднего арифметического значения усилия резания при различных параметрах. Результаты

экспериментальных данных представлены в табл. 1.

На основе полученных данных можно составить уравнение регрессии первого порядка по полному факторному плану 2^2 вида [6]

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{12}x_1x_2, \quad (2)$$

где b_0 – свободный член, b_1, b_2 – линейные коэффициенты регрессии (b_i), b_{12} – коэффициент при парном взаимодействии (b_{iu}).

Значения коэффициентов регрессии при переменных факторах определяются по формулам

$$b_0 = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N y_j, \quad (3)$$

$$b_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} y_j, \quad (4)$$

$$b_{iu} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N x_{ij} x_{uj} y_j, \quad (5)$$

С учетом (3–5) получены следующие значения коэффициентов:

$$b_0 = 465,25; b_1 = 85,25; b_2 = 19,75; b_{12} = 4,75.$$

Для проверки значимости полученных коэффициентов рассчитаем t -отношение для наименьшего из них $b_{12} = 4,75$

$$t_p = \frac{|b_i|}{\sigma(b_i)} = \frac{4,75}{3,39} = 1,4, \quad (6)$$

где $\sigma(b_i)$ – среднее квадратическое отклонение коэффициента, определяемое по выражению

$$\sigma(b_i) = \sqrt{\frac{\sigma^2(y)}{nN}} = \sqrt{\frac{1197,73}{26 \cdot 4}} = 3,39, \quad (7)$$

где $\sigma^2(y)$ – дисперсия воспроизводимости,

N – число опытов,

n – число наблюдений в опыте.

В качестве дисперсии воспроизводимости берется среднее арифметическое дисперсий опытов

$$\sigma^2(y) = \frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_N^2}{N} = \frac{4790,92}{4} = 1197,73. \quad (8)$$

Полученное расчетное значение t_p -отношения сравниваем с табличным значением

$t_{\text{табл}}$ t -критерия Стьюдента. При уровне значимости $q = 0,05$ и числе степеней свободы $f_y = N(n-1) = 100$ табличное значение $t_{\text{табл}} = 1,98 > t_p = 1,4$. Это говорит о том, что коэффициент незначим и необходимо проверить на значимость следующий наименьший коэффициент $b_2 = 19,75$.

Расчетное значение t_p -отношения для коэффициента b_2 найденное по выражению (6) составит $t_p = 5,83$, что больше $t_{\text{табл}} = 1,98$. Следовательно, коэффициент значим и в проверке значимости остальных коэффициентов нет необходимости, поскольку их абсолютные значения больше значения меньшего коэффициента.

С учетом исключения незначимых коэффициентов уравнение регрессии в нормализованном виде примет вид

$$y = 465,21 + 85,25 \cdot x_1 + 19,75 \cdot x_2. \quad (9)$$

Необходимым условием является проверка принятой модели на адекватность. Для проведения данной процедуры необходимо знать величины дисперсий воспроизводимости $\sigma^2(y)$ и адекватности σ_{ad}^2 . Дисперсия воспроизводимости определена в (8), дисперсия адекватности определится из выражения

$$\sigma_{ad}^2 = \frac{\sigma_{ad}}{N-p} = \frac{2346,24}{4-3} = 2346,24, \quad (10)$$

где N – количество опытов,

p – количество значимых коэффициентов уравнения регрессии,

σ_{ad} – сумма квадратов, характеризующая адекватность модели и определяемая выражением

$$\sigma_{ad} = n \cdot \sum (y_i - y_{ip})^2 = 26[(365-360,25)^2 + (526-530,75)^2 + (395-399,75)^2 + (575-570,2)^2] = 2346,24, \quad (11)$$

где y_i – экспериментальное значение выходной величины,

y_{ip} – значение выходной величины, найденное по (9).

Если дисперсии адекватности σ_{ad}^2 и воспроизводимости $\sigma^2(y)$ однородны, то принятая математическая модель адекватна. Для этого вычисляют величину $F_{\text{расч}}$, равную

$$F_{\text{расч}} = \frac{\sigma_{ad}^2}{\sigma^2(y)} = \frac{2346,24}{1197,73} = 1,96, \quad (12)$$

Расчетные и экспериментальные значения усилия резания

The calculated and experimental values of cutting force

№	Значения по уравнению регрессии	Экспериментальные значения	Отклонение, H (ошибка) %
1	360,25	365	1,3
2	380	378	0,5
3	399,75	395	1,2
4	445,5	409	8,2
5	485	443	8,7
6	530,75	526	0,9
7	550,5	544	1,2
8	570,2	575	0,8

и сравнивают ее с F -распределением табличным $F_{табл}$; если $F_{расч} < F_{табл}$, то модель адекватна.

При уровне значимости $q = 0,05$, числах степеней свободы $f_y = N(n - 1) = 100$ и $f_{ад} = N - p = 1$, $F_{табл} = 3,94 > F_{расч} = 1,96$. Значит, проверяемая линейная модель адекватна.

Расчетные и экспериментальные значения усилия резания сведены в табл. 2.

Перевод уравнения регрессии к натуральному виду осуществляется путем замены нормализованных переменных (x_1, x_2) натуральными с учетом формулы

$$x_i = \frac{X_i - \bar{X}_i}{\Delta X_i}, \quad (13)$$

где X_i – текущее значение i -го фактора;

\bar{X}_i – среднее значение i -го фактора;

ΔX_i – уровень варьирования i -го фактора.

После соответствующих математических преобразований уравнение регрессии в натуральном виде

$$y = 150,25 + 170,5X_1 + 3,95X_2, \quad (14)$$

где X_1 – толщина срезаемого слоя, мм;

X_2 – степень обжима древесины, %.

Выводы

– получено уравнение регрессии для определения усилия резания при смешанном строгании шпона вращающимся режущим органом для различных толщин срезаемого слоя и степеней обжима;

– в исследуемых диапазонах отмеченных параметров (табл. 2) видно, что выражение (14) дает пониженную точность описания процесса (максимальные погрешности более 5 %, но менее 10 %);

– приведенное уравнение необходимо для оптимизации энергосиловых показателей процесса смешанного строгания древесины при получении шпона;

– необходимо проведение дальнейших исследований в более широких диапазонах изменения толщины шпона и степеней обжима с целью определения адекватности уравнения.

Библиографический список

1. Михеев, И.И. Производство лущеного и строганого шпона / И.И. Михеев, В.А. Воронов, В.И. Любченко. – М.: Высшая школа., 1970. – 246 с.
2. Любченко, В.И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов / В.И. Любченко. – М.: Лесная пром-сть., 1986. – 296 с.
3. Онищенко, З.А. Изготовление и применение тонкого строганого шпона / З.А. Онищенко, И.Д. Борисюк. – М.: Лесная пром-сть., 1976. – 40 с.
4. Чемоданов, А.Н. Результаты исследования процесса продольного строгания древесины на шпон / А.Н. Чемоданов, Р.Х. Гайнуллин // Вестник МарГТУ / Йошкар-Ола, 2010. – № 1. – С. 40–45.
5. Методика планирования экспериментов и обработки их результатов при исследовании технологических процессов в лесной и деревообрабатывающей промышленности: Учебное пособие для ФПКП и аспирантов. ч. III / МЛТИ; Под ред. А.А. Пижурин. – М., 1972. – 86 с.
6. Пижурин, А.А. Основы научных исследований в деревообработке: учебник для вузов / А.А. Пижурин, А.А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.
7. Электронизационный метод исследования лесозаготовительной техники: Учебное пособие / ПЛТИ; Под ред. В.И. Мельникова. – Йошкар-Ола, 1965. – 45 с.
8. Алабужев, П.М. Теория подобия и размерностей. Моделирование / П.М. Алабужев, В.Б. Геронимус, Л.М. Минкевич, Б.А. Шеховцов. – М.: Высшая школа, 1968. – 208 с.
9. Шеннон, Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука / Р. Шеннон. – М.: МИР, 1978. – 411 с.
10. Гухман, А.А. Введение в теорию подобия / А.А. Гухман. – М.: Высшая школа, 1973. – 296 с.

THE RESULTS OF THE MIXED WOOD CUTTING PROCESS RESEARCH IN VENEER-SAWING INDUSTRY

Chemodanov A.N., Prof. VSUT, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾; **Gainullin Ren.Kh.**, Assoc. Prof. VSUT, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾; **Gainullin Rish.Kh.**, pg. VSUT⁽¹⁾

chemodanovan@volgatech.net, gainyllinrh@yandex.ru, rishat_000@mail.ru

⁽¹⁾Volga State University of Technology, Lenin Sq., 3, Yoshkar-Ola, the Republic of Mari El, 424000, Russia

This article describes the fundamental differences of crossband veneer production methods. It also includes information on the investigational study of the crossband veneer production process. It presents the technique of the investigational study during the mixed planing of wood to get veneer and also the experimental unit and the algorithm of carrying out an experiment. Typical oscillograms of mixed wood planing with a help of the rotating cutting mechanism are also shown in the article. The results of the investigational study to determine the efforts of the veneer mixed cutting of different crimp degree and thickness of the produced veneer are also given. The first-order regression equation on the basis of the obtained data and according to the complete factor plan has been made and the coefficients of the veneer thickness and crimp degree were defined. The received regression equation is necessary for the optimization of the fuel cell indexes of the mixed wood planing process during the veneer production. The analysis of calculated and experimental values of the cutting effort and checking of the accepted mathematical model on adequacy confirmed that this mathematical model is adequate. Received mathematical model determining the cutting effort is correct; uncertainty is not more than 10 %. It is necessary to carry out further researches with the veneer of different thickness and different crimp degree to expand the scope of the received results. The results of the article will find both theoretical and practical application, especially for projection of new woodworking equipment for wood planing. For the development of the recommendations about further practical application of the mixed planing it is planned to pay special attention to the planning process power capacity and to the quality of the crossband veneer surface. These indexes are the most important to define competitiveness of the mixed planing in comparison with other ways.

Keyword: wood, veneer, mixed planing, experimental unit, the regression equation, correction factors, the thickness of the veneer, the degree of crimp.

References

1. Mikheev I.I., Voronov V.A., Lyubchenko V.I. *Proizvodstvo lushchenogo i stroganogo shpona* [Peeled and sliced veneer production], Moscow: 1970, 246 p.
2. Lyubchenko V.I. *Rezanie drevesiny i drevesnykh materialov* [Cutting of wood and wood materials], Moscow: 1986, 296 p.
3. Onishchenko Z.A., Borisyuk I.D. *Izgotovlenie i primeneniye tonkogo stroganogo shpona* [Production and application of thin sliced veneer], Moscow: 1976, 40 p.
4. Chemodanov A.N., Gainullin R.Kh. *Rezul'taty issledovaniya protsessy prodol'nogo stroganiya drevesiny na shpon* [Results of the research of the longitudinal wood planing process in veneer-sawing industry], Vestnik MarGTU [Bulletin MarSTU], Yoshkar-Ola, 2010, № 1, pp. 40-45.
5. *Metodika planirovaniya eksperimentov i obrabotki ikh rezul'tatov pri issledovanii tekhnologicheskikh protsessov v lesnoy i derevoobrabatyvayushchey promyshlennosti* [Methods of planning the experiments and processing of their results in the research of processes in timber and woodworking industries], MLTI, Moscow: 1972, 86 p.
6. Pizhurin A.A., Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Basic research in the wood], Moscow: 2005, 305 p.
7. *Elektroizmetricheskyy metod issledovaniya lesozagotovitel'noy tekhniki* [Elektronic method of forestry equipment research], Yoshkar-Ola: 1965, 45 p.
8. Alabuzhev P.M., Geronimus V.B., Minkevich L.M., Shekhovtsov B.A. *Teoriya podobiya i razmernostey. Modelirovaniye* [Theory of similarity and dimensions. Modeling], Moscow: 1968, 208 p.
9. Shennon R. *Imitatsionnoye modelirovaniye sistem* [Simulation Systems], Iskusstvo i nauka [Art and Science], Moscow: 1978, 411 p.
10. Gukhman A.A. *Vvedeniye v teoriyu podobiya* [Introduction to the theory of similarity], Moscow: 1973, 296 p.

УДК 674.093

СТАТИСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ВХОДЯЩЕГО ПОТОКА ПИЛОВОЧНЫХ СОРТИМЕНТОВ НА УЧАСТОК ОКОРКИ

С.П. АГЕЕВ, *проф. С(А)ФУ, д-р техн. наук⁽¹⁾*,

В.И. МЕЛЕХОВ, *проф. С(А)ФУ, д-р техн. наук⁽¹⁾*,

С.Н. РЫКУНИН, *проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук⁽²⁾*

doctor.mart11@mail.ru

⁽¹⁾Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 163002, г. Архангельск, наб. Сев. Двины, 17

⁽²⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Энергозатраты на производство единицы пилопродукции иногда необоснованно завышены и могут существенно отличаться от нормативных. Проблема повышения энергоэффективности лесопильного производства может быть решена при комплексном рассмотрении и оптимизации технологической и энергетической составляющих производственного процесса. Одним из наиболее энергоемких цехов лесопильно-деревообрабатывающих комбинатов является лесопильное производство. Эффективность работы этого производства в целом зависит от слаженной работы отдельных ее участков и, в частности, от участка окорки древесины, который является головным. Установлено, что входящий поток сортиментов на участок окорки представляет собой случайный процесс, обладающий свойствами: ординарность, стационарность, ограниченность последствия. Для моделирования стационарного потока с ограниченным последствием наиболее адекватной статистической моделью является поток Эрланга. Определены параметры входящего потока сортиментов и их зависимость от скорости подачи окорочных станков и геометрических характеристик сортиментов.

Ключевые слова: технологический процесс, окорочный станок, случайный процесс, закон распределения вероятностей, система массового обслуживания, плотность распределения.

Производство пилопродукции является сложным технологическим процессом и осуществляется на специализированном оборудовании с большим электропотреблением по различным технологиям. Энергозатраты на производство единицы пилопродукции иногда необоснованно завышены и могут существенно отличаться от нормативных. Не принимается во внимание функциональная связь между технологическим режимом оборудования и удельным электропотреблением. Проблема повышения энергоэффективности лесопильного производства может быть решена при комплексном рассмотрении и оптимизации технологической и энергетической составляющих производственного процесса [1].

Одним из наиболее энергоемких цехов лесопильно-деревообрабатывающих комбинатов является лесопильное производство. Эффективность работы этого производства в целом зависит от слаженной работы отдельных ее участков и, в частности, от участка окорки древесины, который является головным [2].

В работе [3] представлена технологическая схема лесопильного производства как система массового обслуживания (СМО) общего вида, в которой интервалы между поступлениями требований и время их обслуживания являются случайными величинами и распределены по произвольному закону. На вход такой системы поступает поток пиловочного сырья (далее – бревна), а на выходе образуется поток пиломатериалов. При этом отдельные технологические участки образуют фазы СМО, что позволяет рассматривать лесопильное производство как многофазную систему. В свою очередь, каждая фаза также представляет СМО с ожиданием.

Изучение входящих потоков требований СМО имеет первостепенное значение для математического описания и установления закономерностей функционирования производственного процесса. Сложность математического анализа, достоверность и точность полученных результатов зависят от того, насколько правильно будет выбрана статистическая модель потока требований. Выбор модели необходимо производить та-

ким образом, чтобы ее описание не требовало слишком сложного математического аппарата и чтобы она наилучшим образом соответствовала реальному моделируемому потоку [4]. Статистическая модель процесса формируется в виде конкретного закона распределения вероятностей случайных значений показателей этого процесса, изменяющихся в условиях реального производства.

Метод проведения исследований

Поступление бревен на участок окорки есть случайный процесс, который может быть описан некоторой функцией $X(t)$, определяющей количество бревен, поступивших на участок окорки за некоторый промежуток времени $(0, t)$. Функция $X(t)$ есть случайная величина для каждого значения времени t . Для этой функции характерно то, что она принимает только целочисленные неотрицательные значения и с возрастанием t никогда не убывает.

Поток неокоренных бревен как случайный процесс обладает следующими свойствами.

1. **Ординарность.** Поток требований является *ординарным*, если требования в нем появляются поодиночке. Так как неокоренные бревна поступают на продольный цепной конвейер поштучно, то данный поток обладает свойством ординарности.

2. **Стационарность.** *Стационарным* является поток, для которого вероятность поступления определенного количества требований в течение заданного промежутка времени не зависит от начала отсчета времени, а определяется только длиной этого промежутка. Строго говоря, поток называется *стационарным*, если закон распределения группы случайных величин $X(t_1), X(t_2), \dots, X(t_n)$ совпадает с законом распределения

$$X(t_1 + a) - X(a), X(t_2 + a) - X(a), \dots, X(t_n + a) - X(a)$$

т. е. распределение случайных величин зависит от t_1, t_2, \dots, t_n и не зависит от величины a , где a – любой произвольный отрезок времени. Из этого определения следует, что для стационарного потока вероятность того, что

ровно k требований поступит за промежуток времени $(0, t)$, равна вероятности поступления k требований за промежуток времени $(a, a + t)$ при любом значении a , то есть

$$P\{X(t) = k\} = P\{X(t + a) - X(a) = k\}, \\ k = 0, 1, 2, \dots, n.$$

В установившемся режиме работы линии поток неокоренных бревен также можно рассматривать как стационарный процесс.

Основной характеристикой стационарного потока является его интенсивность. *Интенсивностью* потока называется математическое ожидание числа требований в единицу времени. Тогда для стационарного ординарного потока требований интенсивность

$$\lambda_1 = \lim_{x \rightarrow 0} \frac{MX(t)}{t},$$

где $MX(t)$ – математическое ожидание числа требований, поступивших за интервал времени $(0, t)$.

3. Ограниченность последействия.

Покажем, что входящий поток неокоренных бревен имеет ограниченное последействие. Пусть минимальная длина бревен определенного диаметра, поступающих на окорку, равна L_{\min} . Тогда минимальное расстояние между вершинными торцами бревен на продольном конвейере будет не менее L_{\min} . Нетрудно убедиться, что наличие такого минимального расстояния неизбежно приводит к последействию. Действительно, пусть стало известно, что в какой-то момент времени $t_{\text{вх1}}$ на цепной конвейер поступило очередное бревно. Тогда можно с достоверностью утверждать, что на любом участке времени Δ , находящемся в пределах $(t_{\text{вх1}}, t_{\text{вх1}} + t_{\text{ц, мин}})$, где $t_{\text{ц, мин}}$ – минимальное время цикла окорки одно бревна, на конвейер не поступит следующее бревно (рис. 1). Таким образом, будет иметь место зависимость

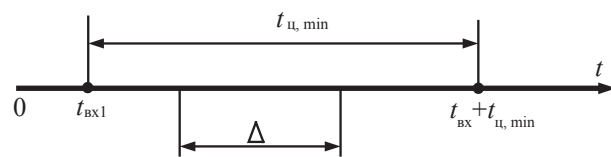


Рис. 1. К объяснению свойства ограниченного последействия

Fig. 1. On explaining the properties of a limited aftereffect

между числом требований в потоке бревен на непрерывающихся участках времени. Стационарный и ординарный поток с ограниченным последствием (поток Пальма) можно рассматривать как некоторое обобщение простейшего потока [5].

На практике для моделирования стационарных потоков с ограниченным последствием применяются потоки Эрланга различных порядков. Поток Эрланга k -го порядка может быть получен из простейшего (пуассоновского) потока путем его «разрежения», при этом в простейшем потоке сохраняется каждое k -е событие, а все промежуточные удаляются [5].

Для математического описания потока неокоренных бревен как стационарного случайного процесса используем его свойства – неотрицательность и монотонность. Пусть t_1, t_2, \dots, t_n есть моменты поступления последовательных бревен потока в окорочный станок. Величина $t_0 = 0$ есть начальный момент времени. Обозначим промежутки времени между поступлением двух последовательных бревен

$$z_i = t_i - t_{i-1}, i = 1, 2, \dots, n.$$

Очевидно, что $z_i > 0$, т. к. $t_i > t_{i-1}$, $i = 1, 2, \dots, n$. При этом величина $z_1 = t_1$, а величины z_i ($i = 2, 3, \dots, n$) есть промежутки времени между бревнами. При этом невозможно точно определить, в какой момент времени в окорочный станок поступит очередное бревно, поэтому все z_i и t_i ($i = 1, 2, \dots, n$) представляют собой случайные величины, которые могут принимать только неотрицательные значения.

Поток требований будет задан, если известны все моменты поступления требований или промежутки времени между смежными требованиями. Поскольку все они есть случайные величины, то для определения потока требований нужно задать закон распределения последовательности этих величин.

Поток требований называется потоком с *ограниченным последствием*, если для него последовательность z_1, z_2, \dots, z_n есть последовательность взаимно независимых случайных величин.

В [6] показано, что для описания такого потока достаточно знания одной функции $\varphi_0(t)$, которая определяется следующим образом. Рассмотрим вспомогательную функцию $h_0(\tau, t)$, равную вероятности отсутствия требований за промежуток времени t , при условии, что за промежуток времени τ поступило, по крайней мере, одно требование. При этом τ есть предшествующий t и смежный с ним промежуток времени.

Тогда отношение

$$h_0(\tau, t)/w(\tau), \quad (1)$$

есть условная вероятность отсутствия требования за промежуток времени t , при условии, что за промежуток времени τ поступило хотя бы одно требование. Величина $w(\tau)$ в (1) есть вероятность поступления, по крайней мере, одного требования за промежуток времени τ . Тогда функция $\varphi_0(t)$ определяется как предел отношения (1) при $\tau \rightarrow 0$, т. е.

$$\varphi_0(t) = \lim_{\tau \rightarrow 0} \frac{h_0(\tau, t)}{W(\tau)}$$

Таким образом, функция $\varphi_0(t)$ равна условной вероятности того, что для любого стационарного потока в промежутке времени $(t_0, t_0 + t)$ не поступит ни одного требования, если известно, что в момент времени t_0 требование поступило.

В [6] доказана теорема, согласно которой для стационарного ординарного потока с ограниченным последствием функция распределения случайных величин z_i ($i = 2, 3, \dots, n$) имеет вид

$$F_1(t) = \lambda_1 \int_0^t \varphi_0(u) du, \quad (2)$$

$$F_i(t) = 1 - \varphi_0(t), i \geq 0, \quad (3)$$

где λ_1 – интенсивность потока Эрланга (рис. 2).

Интенсивность λ_1 может быть определена из соотношения (2) через функцию $\varphi_0(t)$. Так как вероятность поступления на участок окорки за время хотя бы одного бревна равна единице, то из (2) получим

$$F_1(\infty) = \lambda_1 \int_0^{\infty} \varphi_0(u) du = 1,$$

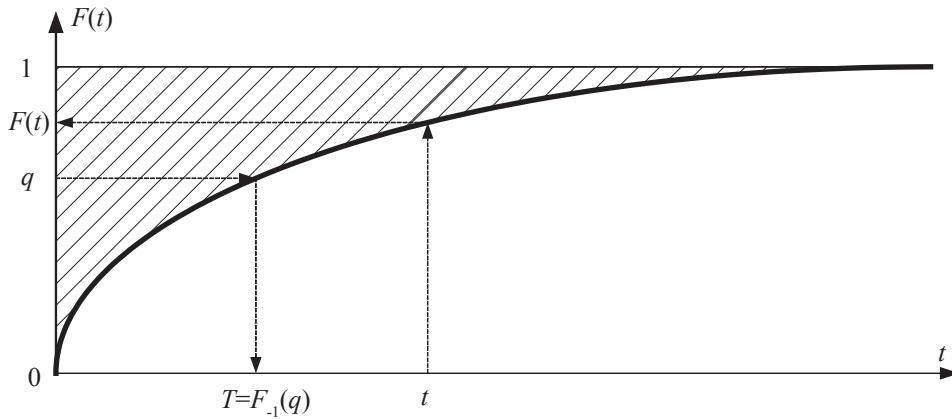


Рис. 2. График функции распределения $F(t)$
 Fig. 2. The graph of the distribution function $F(t)$

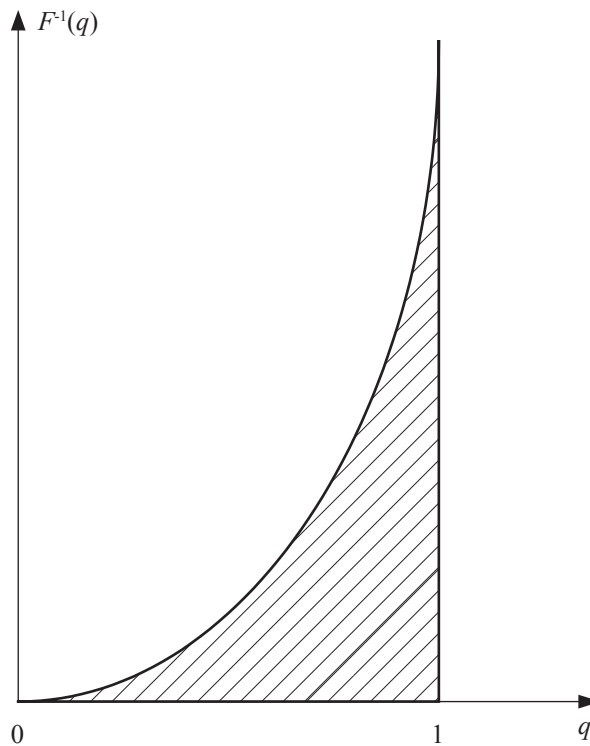


Рис. 3. График обратной функции $F_{-1}(q)$
 Fig. 3. The graph of the inverse function $F_{-1}(q)$

откуда с учетом (3)

$$\lambda_1 = \frac{1}{\int_0^{\infty} (1 - F_i(t)) dt}, \quad i \geq 2, \quad (4)$$

Покажем, что интеграл, стоящий в знаменателе (4), представляет собой математическое ожидание непрерывной случайной величины $z_i (i = 2, 3, \dots, n)$.

Промежуток времени между поступлением двух последовательных бревен

$$z_i = L_i/u + \tau_B, \quad (5)$$

где L_i – случайная длина бревен,
 $i = 2, 3, \dots, n$;

u – скорость подачи окорочного станка;

τ_B – случайная длительность вспомогательного времени, обусловленного межторцовыми разрывами.

Далее для упрощения записи символ i в обозначении индекса опустим, учитывая при этом, что рассматриваемые величины имеют отношение к промежуткам $z_i (i = 2, 3, \dots, n)$.

Представим случайную величину z как функцию случайного аргумента q , а именно

$$z = g(q) = F_{-1}(q) = \sup\{t: F(t) \leq 1\},$$

где $F_{-1}(q)$ – функция, обратная к функции распределения $F(t)$ (рис. 3);

\sup – точная верхняя грань множества, свойство элементов t которого указано в фигурных скобках.

Очевидно, чтобы обратная функция $F_{-1}(q)$ была однозначно определенной, случайная величина q должна иметь значения, заключенные на отрезке $[0, 1]$. Покажем, что на этом отрезке величина q имеет равномерное распределение. По определению функция распределения случайной величины z есть вероятность

$$F(t) = p(z < t) = p\{F_{-1}(q) \leq 1\}. \quad (6)$$

С учетом неубывающего характера функции $F(t)$ выражение (6) равносильно выражению

$$F(t) = p\{q \leq F(t)\}. \quad (7)$$

Из (7) следует, что случайная величина q имеет равномерное распределение на отрезке $[0, 1]$, т. е. ее плотность вероятности равна $f_q(t) = 1$. Тогда по определению математического ожидания функции случайного аргумента получим

$$\begin{aligned} Mz &= Mg(q) = \int_0^1 g(y) f_q(t) dy = \\ &= \int_0^1 g(y) dy = \int_0^1 F_{-1}(y) dy. \end{aligned} \quad (8)$$

Используя геометрический смысл определенного интеграла (8), видим, что Mz численно равно площади области с основанием $[0, 1]$ и ограниченной сверху графиком функции $F_{-1}(q)$ (рис. 3). Эта же площадь заштрихована на рис. 2 и равна

$$\int_0^{\infty} (1 - F(t)) dt.$$

Таким образом, имеем

$$Mz = \int_0^1 F_{-1}(y) dy = \int_0^{\infty} (1 - F(t)) dt$$

или с учетом (5)

$$Mz = M\left(\frac{L}{u} + \tau_B\right) = \frac{1}{u} ML + M\tau_B, \quad (9)$$

где ML – математическое ожидание длины бревен, м;

$M\tau_B$ – математическое ожидание длительности вспомогательного времени (межторцовых разрывов).

Тогда согласно (4) получим

$$\lambda_1 = u / (ML + uM\tau_B). \quad (10)$$

Аналогично можно показать, что порядок закона Эрланга можно определить по формуле

$$k = (Mz)^2 / Dz,$$

где Dz – дисперсия случайной величины z , определяемая по выражению

$$Dz = D(L/u + \tau_B) = (1/u^2)DL + D\tau_B, \quad (11)$$

Здесь DL – дисперсия длины бревен, $D\tau_B$ – дисперсия длительности вспомогательного времени (межторцовых разрывов).

Тогда с учетом (9) и (11) порядок закона Эрланга

$$k = \frac{(ML)^2 + 2uML \cdot M\tau_B + u^2(M\tau_B)^2}{DL + u^2 D\tau_B}. \quad (12)$$

Из (10) и (12) следует, что оба параметра закона Эрланга распределения промежутков времени между поступлениями двух последовательных бревен зависят от геометрических размеров пиловочных сортиментов, скорости подачи окорочного станка и вероятностных характеристик длительности межторцовых разрывов.

Выводы

В результате проведенных исследований установлено, что входящий поток сортиментов на участок окорки представляет собой случайный процесс, обладающий свойствами: ординарность, стационарность, ограниченность последствия. Для моделирования стационарного потока с ограниченным последствием наиболее адекватной статистической моделью является поток Эрланга. Определены параметры входящего потока

сортиментов и их зависимость от скорости подачи окорочных станков и геометрических характеристик сортиментов.

Библиографический список

1. Ageev, S.P. Многофакторная модель электропотребления поточной линии производства пилопродукции / С.П. Агеев // Лесной Журнал. – 2013. – № 1. – С. 122 – 130.
2. Рыкунин, С.Н. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств: учеб. пособие для студентов / С.Н. Рыкунин, Ю.П. Тюкина, В.С. Шалаев. – М.: МГУЛ, 2003. – 225 с.
3. Агеев, С.П. Вероятностное моделирование процесса производства пилопродукции / С.П. Агеев, В.И. Мелехов, С.Н. Рыкунин // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2015. – № 2. – С. 89–96.
4. Вильке, Г.А. Автоматизация производственных процессов лесопромышленных предприятий / Г.А. Вильке. – М.: Лесная пром-сть, 1972.
5. Вентцель, Е.С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения / Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – М.: Высшая школа, 2000. – 383 с.
6. Хинчин, А.Я. Работы по математической теории массового обслуживания / А.Я. Хинчин. – М.: Физматгиз, 2004. – 236 с.

STATISTICAL MODEL OF THE INCOMING STREAM SAWN ASSORTMENTS AT PLOT DEBARKING

Ageev S.P., Prof. NARFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Melekhov V.I., Prof. NARFU, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Rykunin S.N., Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Tech.)⁽²⁾

doctor.mart11@mail.ru

⁽¹⁾Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NARFU), nab. Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia

⁽²⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

Energy used to produce lumber unit is sometimes unduly inflated and may differ substantially from the normative. The problem of increasing the energy efficiency of sawmills can be solved in an integrated examination and optimization of technology and energy components of the production process. One of the most energy-intensive workshops is sawmill woodworking. Efficiency of this production as a whole depends on well-coordinated work of its individual sections, and particularly the leading area of wood debarking. The production process in the lumbering shop has the properties of probabilistic processes. Among the many different types of stochastic processes of particular importance for the mathematical modeling of production systems are Markov processes. It has been established that the incoming stream of logs debarking onto the land is a random process that possesses properties.

Keywords: technological process, debarking, random process, the law of probability distributions, queuing system, the density distribution.

References

1. Ageev S.P. *Mnogofaktornaya model' elektropotrebleniya potочноy linii proizvodstva piloproductsii* [Multifactor model of electricity production flow line sawn timber], Bulletin of Higher Educational Institutions. Lesnoy Zhurnal, 2013, № 1, pp. 122-130.
2. Rykunin S.N., Tyukina Yu.P., Shalaev V.S. *Tekhnologiya lesopil'no-derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [The technology of sawing and woodworking industries], Moscow: MSFU, 2003, 225 p.
3. Ageev S.P., Melekhov V.I., Rykunin S.N. *Veroyatnostnoe modelirovanie protsesssa proizvodstva piloproductsii* [Probabilistic modeling of the process of production of sawn timber], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, № 2, pp. 89-96.
4. Vil'ke G.A. *Avtomatizatsiya proizvodstvennykh protsessov lesopromyshlennykh predpriyatiy* [Automation of production processes of timber enterprises], Moscow: Forestry, 1972.
5. Venttsel' E.S., Ovcharov L.A. *Teoriya sluchaynykh protsessov i ee inzhenernye prilozheniya* [The theory of random processes and its engineering applications], Moscow: Higher School, 2000. 383 p.
6. Khinchin A.Ya. *Raboty po matematicheskoy teorii massovogo obsluzhivaniya* [Work on mathematical queuing theory], Moscow: Fizmatgiz, 2004, 236 p.

УДК 674.047.1

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЕСТЕСТВЕННОЙ СУШКИ ТОПЛИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ В ПАЧКАХ НА ЛЕСОСЕКЕ

П.Н. АНИСИМОВ, *асп., ПГТУ*⁽¹⁾,
Е.М. ОНУЧИН, *доц., ПГТУ, канд. техн. наук*⁽¹⁾

anisimovpn@volgatech.net, onuchinem@volgatech.net

⁽¹⁾ФГБОУ ВПО «Поволжский государственный технологический университет»
424000, Республика Марий Эл, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, д. 3, ПГТУ

Известно, что повышение влажности древесного топлива приводит к снижению его теплотворной способности и снижает эффективность энергетического оборудования. С целью повышения качества топливной древесины, то есть повышения теплотворной способности и снижения влажности, практикуется естественная атмосферная сушка. Цель данного исследования – по экспериментальным данным получить математическую модель естественной сушки целых деревьев, уложенных в пачки на лесосеке при заготовке топливной древесины. Для этого было проведено экспериментальное исследование естественной сушки с марта по октябрь 2015 г. целых деревьев сосны и березы разного диаметра, уложенных определенным образом в пачки на лесосеке. В результате была разработана математическая модель, описывающая изменение содержания влаги в деревьях сосны в процессе их естественной сушки в штабеле на лесосеке. Полученное уравнение регрессии определяет зависимость средней влажности древесины в пачке от диаметра древесины, количества жидких атмосферных осадков, относительной влажности и температуры окружающего воздуха, средней скорости движения воздуха, обдувающего пачку деревьев, продолжительности естественной сушки. Разработанная математическая модель позволяет прогнозировать изменение влагосодержания древесины в процессе естественной сушки с погрешностью менее 5 %. Влажность древесины в процессе естественной сушки с марта по октябрь в среднем была снижена с 52 % до 27 %. Кроме того, в статье предложен способ заготовки топливной древесины энергетических лесных плантаций. Предложен способ укладки деревьев в пачки при заготовке топливной древесины, выращенной на лесных плантациях. Результаты исследования могут быть использованы для повышения эффективности производства древесного топлива. Предлагаемая математическая модель может быть использована на практике для прогнозирования изменения влагосодержания древесины целых деревьев, уложенных в пачки для естественной сушки под открытым небом, и соответственно для определения оптимальной продолжительности сушки.

Ключевые слова. Естественная атмосферная сушка, математическая модель сушки, влажность древесины, топливная древесина, энергетические лесные плантации.

Известно, что повышенная влажность топлива приводит к снижению его теплотворной способности и снижает эффективность энергетического оборудования [1–10, 19–22]. Это относится и к прямому сжиганию древесного топлива, и к технологии сжигания древесины с промежуточной газификацией [23], и к технологии производства из древесины жидкого топлива [24], поскольку генераторный газ и пиролизное топливо с высоким влагосодержанием имеют низкую теплотворную способность. Практика показывает, что при газификации древесины относительной влажностью более 45 % наблюдается нестабильное горение генераторного газа на выходе из газогенератора [7].

С целью повышения качества древесного топлива, то есть повышения теплотворной способности и снижения влажности, практикуется естественная атмосферная сушка. Лесосечные отходы, а также топливную древесину в виде целых деревьев укладыва-

ют в пачки или штабеля для летней просушки и осыпания зелени [8, 10].

Особенности естественной сушки круглой древесины в условиях умеренного континентального климата

Многочисленные исследования свидетельствуют о повышении влажности (повторном увлажнении) древесины при ее хранении под открытым небом, без защиты от атмосферных осадков, осенью и весной, во время дождей и низкой температуры и во время таяния снега [20, 25, 26]. При хранении круглой древесины в штабеле, не защищенном покрытием от атмосферных осадков, о повторном увлажнении в летний период в разных исследованиях сообщаются различные сведения. В исследованиях [21, 22] сообщается, что в летний период повторное увлажнение вследствие действия атмосферных осадков не наблюдалось. В других наблюдалось незначительное повторное увлажнение в летний период, во время обильных

дождей, как в случае хранения в непокрытых, так и покрытых штабелях [19, 25]. Влажность непокрытого штабеля повышается интенсивнее, однако вследствие лучшей продуваемости он также быстрее высыхает после повторного увлажнения по сравнению с покрытым сверху и с боков штабелем [25].

Особенности логистики древесины энергетического назначения

Потребление древесного топлива для производства тепловой и электрической энергии имеет ярко выраженный сезонный характер с максимумом потребления в зимние месяцы. В то же время измельчение мороженой древесины требует повышенных затрат энергии, так как она обладает повышенной прочностью [11, 6]. В летний период количество лесосечных отходов, как правило, превышает потребности в топливе [6]. Учитывая все особенности топливного использования древесины, производство основного объема топливной щепы из различного сырья, будь то отходы лесозаготовки, неделовая древесина рубок ухода, отходы лесопиления или же древесина специальных энергетических плантаций, экономически целесообразно осуществлять в теплое время года до начала отопительного сезона и (или) до наступления отрицательных температур наружного воздуха. Кроме того, лесозаготовка на большей части территории России также носит явно выраженный сезонный характер на слабых и переувлажненных грунтах, отмечается, что основной объем древесины заготавливается в зимние месяцы [12].

Таким образом, наибольший практический интерес представляют закономерности естественной сушки в период весна–лето–ранняя осень древесины энергетического назначения, срубленной в конце зимы.

В исследованиях [20, 22, 26, 27] отмечается, что динамика изменения влажности круглой древесины при естественной атмосферной сушке в штабеле зависит от среднего диаметра древесного ствола, от температуры и относительной влажности окружающего воздуха, от породы дерева и наличия коры, от геометрических размеров штабеля и плотнос-

ти укладки древесины в штабеле, от скорости ветра, обдувающего штабель, а также от наличия защиты штабеля от атмосферных осадков и от количества атмосферных осадков.

Цель исследования

По экспериментальным данным получить математическую модель, описывающую изменение содержания влаги в деревьях сосны и березы в процессе их естественной сушки в пачке на лесосеке. Полученное уравнение регрессии должно определять зависимость средней влажности древесины в штабеле от диаметра древесины, влажности и температуры окружающего воздуха, продолжительности естественной сушки.

Средства и методы исследования. Математическое моделирование

Для того чтобы прогнозировать изменение среднего содержания влаги в древесине в процессе естественной атмосферной сушки в зависимости от температуры и относительной влажности окружающего воздуха, а также количества атмосферных осадков, предлагается уравнение (3), являющееся модификацией уравнений математических моделей процесса естественной сушки, предложенных в работах [21, 22]

$$w_{i+1} = w_i + k_1 \cdot \sum P + k_2 \cdot \sum E, \% \quad (1)$$

где w_{i+1} – прогнозируемая относительная влажность древесины в процессе естественной сушки к моменту времени τ_{i+1} , %;

i – единица времени, к примеру одна неделя, две недели или один месяц;

w_i – средняя относительная влажность древесины к моменту времени τ_i , %;

$\sum P$ – суммарное за период времени $(\tau_{i+1} - \tau_i)$ количество жидких атмосферных осадков, мм;

$\sum E$ – суммарное за период времени $(\tau_{i+1} - \tau_i)$ прямое испарение воды с поверхности, мм;

k_1, k_2 – коэффициенты, полученные экспериментальным путем.

Суммарное за период времени $(\tau_{i+1} - \tau_i)$ прямое испарение воды с поверхности $\sum E$, мм, находится по формуле (2), которая

основана на формуле для определения количества испаряющейся в час влаги с открытой водной поверхности, предложенной сушильной лабораторией Всесоюзного теплотехнического института (Москва) и приведенной в справочнике [13]

$$\sum E = h \cdot (7,4 \cdot (0,022 + 0,017 \cdot \vartheta) \times (p_n - p_n) \cdot 101,3) / P_{бар}, \text{ мм}, \quad (2)$$

где h – количество часов в рассматриваемом периоде времени ($\tau_{i+1} - \tau_i$);

ϑ – средняя скорость движения воздуха, обдувающего пачку уложенных деревьев, измеренная на середине высоты пачки;

p_n – давление насыщенного водяного пара в воздухе при температуре, равной температуре воды (в нашем случае температура воды равна температуре окружающего воздуха), кПа;

p_n – парциальное давление водяного пара в воздухе, кПа;

$P_{бар}$ – барометрическое давление, кПа.

Тогда суммарное прямое испарение воды с поверхности $\sum E$ за период времени ($\tau_{i+1} - \tau_i$) будет равно произведению количества часов в рассматриваемом периоде времени ($\tau_{i+1} - \tau_i$) на количество испаряющейся в час влаги E .

Давление насыщенного водяного пара над поверхностью чистой воды (в диапазоне температур 0–83°C) можно найти по таблицам или по формуле, предложенной в работе [14]

$$p_n = 0,001 \cdot 10^{(658 + 10,2 \cdot t) / (236 + t)}, \text{ кПа}, \quad (3)$$

где t – температура окружающего воздуха за период времени ($\tau_{i+1} - \tau_i$), °C.

Парциальное давление водяного пара в воздухе находится по известной формуле

$$p_n = p_n \cdot \varphi / 100, \text{ кПа}, \quad (4)$$

где φ – средняя относительная влажность окружающего воздуха за период времени ($\tau_{i+1} - \tau_i$), %.

Коэффициенты k_1, k_2 , которые были получены экспериментальным путем, учитывают прочие параметры, влияющие на процесс атмосферной сушки древесины, такие как средний диаметр древесного ствола в пачке деревьев, особенности породы древесины, тип энергетической древесины (целые деревья, лесосечные отходы, неокоренная, частично окоренная, и т. д.), а также условия складиро-

вания (размеры пачки или штабеля, плотность укладки пачки или штабеля, наличие покрытия от дождя штабеля сверху и т. д.).

Эксперимент

С целью нахождения коэффициентов k_1, k_2 уравнения (1), а также нахождения уравнения регрессии, определяющего зависимость коэффициентов k_1, k_2 от среднего диаметра стволов деревьев в пачке, был проведен эксперимент по атмосферной сушке целых деревьев сосны, определенным образом (рис. 1) уложенных в пачки на лесосеке. Исследование проводилось на территории Учебно-опытного лесхоза ФГБОУ ВПО «ПГТУ» в Медведевском районе республики Марий Эл (56,477°N; 47,861°E).

Из целых срубленных деревьев на лесосеке были сформированы 4 пачки – 3 пачки сосны, рассортированной по диаметру, и 1 пачка березы, не рассортированной по диаметру. Объем пачки и способ укладки деревьев определяется по предлагаемой авторами технологии заготовки древесины энергетического назначения, состоящей из двух этапов. На первом этапе деревья срезаются и укладываются в пачки с помощью валочно-пакетирующей машины с одной ее стоянки. На втором этапе после атмосферной сушки пакетов в теплый период целые деревья измельчаются в щепу на лесосеке с помощью

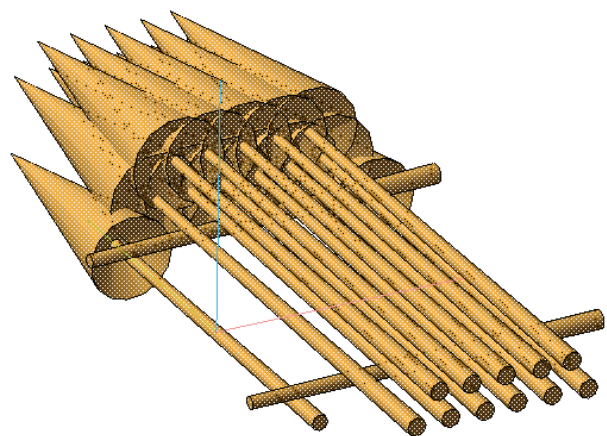


Рис. 1. Способ укладки на лесосеке пачек из целых деревьев для естественной подсушки при заготовке древесины энергетического назначения

Fig. 1. Way of laying of packs of the whole trees for fuelwood for natural drying on a cutting area

Параметры пачек целых деревьев сосны, уложенных на лесосеке для естественной сушки
Parameters of packs of the whole trees of a pine laid on a cutting area for natural drying

№ пачки деревьев	Средний возраст деревьев, лет	Средний диаметр ствола, м	Средняя высота дерева, м	Количество деревьев в пачке, шт.	Объем древесины в пачке, плотн. м ³	Средняя высота пачки, м
1	14	0,07	8	21	0,65	1
2	22	0,11	10,5	18	1,9	1,1
3	32	0,15	14,5	15	3,7	1,1
4 (береза)	25	0,14	13	25	5	1,3

мобильной рубительной машины с накопительным контейнером.

В одну пачку были уложены деревья приблизительно одного диаметра. Параметры пачек деревьев приведены в табл. 1. Деревья в пачках были уложены целиком. Отсутствовало какое-либо покрытие пачек от атмосферных осадков. Каждая пачка деревьев была уложена на подкладку на грунт непосредственно на лесосеке. Подкладка представляет собой деревья, уложенные поперечно, как показано на рис. 1.

Деревья сосны и березы были срублены валочно-пакетирующей машиной и уложены в пачки на лесосеке в начале марта на открытом месте после вырубki. Пачки были оставлены на лесосеке для естественной подсушки древесины и опадания хвои и частично коры до конца сентября. В ходе эксперимента 1-го или 2-го числа каждого месяца с апреля по октябрь проводились измерения влагосодержания древесины. Влагосодержание свежесрубленной древесины в начале марта и в конце эксперимента после окончания естественной сушки 1-го октября было определено контрольным методом определения влажности в соответствии с ГОСТ 16588-91 [15]. Из каждой пачки была сделана выборка в количестве от 6 до 8 образцов. Образцы были взвешены на весах с погрешностью менее 0,1 г до и после сушки в сушильном шкафу при температуре 103 °С. Влажность древесины в процессе естественной сушки в ходе эксперимента 1-го или 2-го числа каждого месяца с апреля по сентябрь измерялась с помощью электровлагомера [16] HYDROMETTE HT85T.

В ходе эксперимента регистрировались параметры окружающей среды в месте

нахождения пачек деревьев, влияющие на процесс сушки: количество осадков в виде дождя, относительная влажность воздуха и температура воздуха, скорость движения воздуха, обдувающего пачку. Количество осадков измерялось ежедневно с помощью дождемера полевого М-99. Средняя относительная влажность окружающего воздуха регистрировалась с помощью термогигрометра. Скорость движения воздуха, обдувающего пачку, измерялась с помощью анемометра на уровне середины высоты пачки.

Результаты исследования

Все зарегистрированные параметры окружающей среды были приведены к среднемесячным значениям, остальные косвенные параметры были вычислены по формулам (2–4), все они представлены в табл. 2. Суммарным за период времени $(\tau_{i+1} - \tau_i)$ количеством атмосферных осадков $\sum P$, мм, в эксперименте является суммарное количество дождя, выпавшего за i -й месяц сушки древесины. В эксперименте и моделировании в качестве $\sum E$ было принято суммарное прямое испарение воды с поверхности за i -й месяц. В эксперименте и моделировании в качестве t принималась среднемесячная температура окружающего воздуха, измеряемая вблизи пачки деревьев. Поскольку высота пачек примерно одинакова, то скорость движения воздуха была замерена в середине средней высоты пачки, на уровне 0,55 м от поверхности земли.

Поскольку все пачки деревьев находились на одной лесосеке, то все параметры окружающей среды (табл. 2), влияющие на процесс естественной сушки, приняты одинаковыми для всех 4-х экспериментальных пачек деревьев.

Параметры окружающей среды в процессе естественной сушки
Environment parameters in the course of natural drying

i	Месяц	t , средняя темпер. окруж. воздуха, °С	φ , средняя относит. влажность окруж. воздуха, %	$\sum P$, месячное количество осадков, мм	p_n , давление насыщения, кПа	p_n , парц. давление вод. пара в воздухе, кПа	ϑ , средняя скорость движения воздуха около пачки, м/с	$\sum E$, месячное испарение с открытой поверхн., мм
0	Март	-2,1	—	—	—	—	—	—
1	Апр.	3,95	74	66	0,81	0,6	1,2	47,9
2	Май	16	57	22,1	1,82	1,04	1	169,3
3	Июнь	18,75	66,5	54,2	2,17	1,44	0,8	139
4	Июль	17,1	90	138,7	1,95	1,76	1,3	48
5	Авг.	15,35	75,4	64,1	1,74	1,32	1	93,3
6	Сент.	14,5	65	30,8	1,65	1,07	0,9	115,9
	Сумма	—	—	375,8	—	—	—	613,5

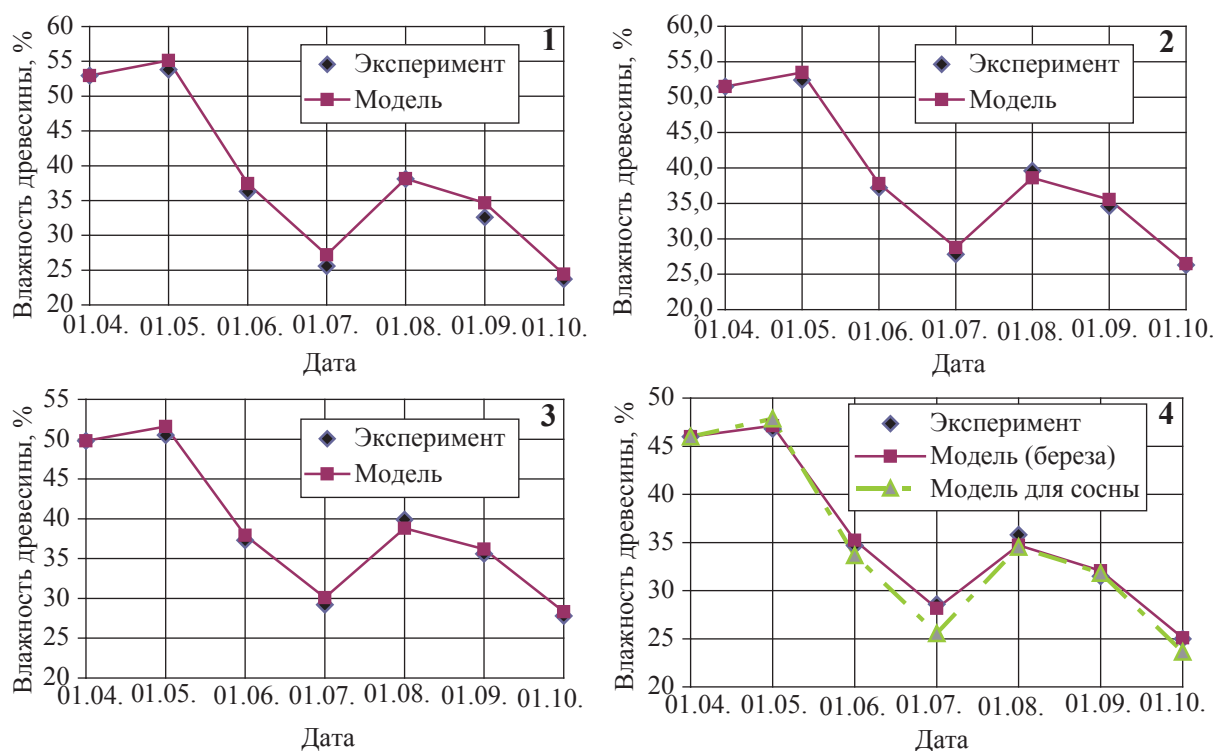


Рис. 2. Значения относительной влажности древесины, полученные в результате измерений и вычисленные по формуле (1)

Fig. 2. Experimental and theoretical (equation 1) values of moisture content of wood

Результаты измерения влажности древесины в процессе естественной сушки представлены на графиках 1–4 рис. 2. Отдельными точками на графиках обозначены экспериментальные значения влажности, линией обозначены значения влажности древесины, вычисленные по формуле (1).

Отклонение теоретических значений влажности древесины, вычисленных по фор-

муле (1), от экспериментальных значений составляет менее 5 %. На графике 4 (рис. 2) дополнительно пунктирной линией обозначены значения влажности березы, вычисленные по формуле 1 с коэффициентами k_1 , k_2 для сушки сосны (по формулам 5 и 6). Как видно из графика 4, при моделировании сушки березы подстановка экспериментальных коэффициентов k_1 , k_2 , полученных для сосны, приво-

Экспериментальные коэффициенты k_1, k_2 математической модели (1)

Experimental coefficients of k_1, k_2 of mathematical model (1)

№ пачки деревьев	k_1	k_2
1	0,1246	-0,1252
2	0,1110	-0,1102
3	0,1002	-0,0971
4 (береза)	0,075	-0,08

дит к увеличению погрешности до 10 %, что подтверждает влияние породы древесины на процесс сушки.

Коэффициенты регрессии k_1, k_2 в формуле (1) были определены методом наименьших квадратов, т. е. путем минимизации суммы квадратов отклонений измеренных значений влажности древесины w от вычисленных с помощью регрессионной модели (1). Значения экспериментальных коэффициентов k_1, k_2 модели (1) представлены в табл. 3.

Как видно из графиков рис. 2, на процесс естественной сушки большое влияние оказывает диаметр ствола дерева. Аппроксимацией значений коэффициентов k_1, k_2 для сушки сосны, полученных экспериментально, были получены уравнения (5, 6), определяющие зависимость коэффициентов k_1, k_2 от диаметра древесины

$$k_1 = -0,3231 \cdot D + 0,143, \quad (5)$$

$$(R^2 = 0,99);$$

$$k_2 = 0,3438 \cdot D - 0,1442, \quad (6)$$

$$(R^2 = 0,99),$$

где D – средний диаметр древесных стволов в пачке, м.

Обсуждение полученных результатов

Максимальное снижение влажности древесины за все время хранения наблюдалось в первой пачке с древесиной среднего диаметра 0,07 м, с марта по сентябрь относительная влажность снизилась с 53,5 % до 23,7 %. Чем больше был диаметр древесины, тем меньше снизилась влажность. В третьей пачке древесина с диаметром 0,15 м высохла до влажности 27,8 % с первоначальной 50,1 %. Во всех пачках наблюдалось повторное увлажнение сохнувшей древесины в июле, когда количество атмосферных осадков $\sum P$, мм, значительно

(в 3 раза) превышало суммарное теоретическое испарение с поверхности воды $\sum E$, мм. В июле в этом году выпало 190 % месячной нормы осадков. В другие месяцы наблюдалось снижение влажности древесины. Таким образом, для свободно уложенных пачек в условиях, когда $\sum P$ не превышает $\sum E$, покрытие пачки деревьев сверху от атмосферных осадков не является обязательным.

Поскольку пачки деревьев были уложены непосредственно на грунт, то два нижних дерева выполняли функцию подкладочных и их влажность не учитывалась при определении средней влажности пачки.

Предлагаемая математическая модель может быть использована на практике для прогнозирования изменения влагосодержания древесины целых деревьев, уложенных в пачки для естественной сушки под открытым небом и соответственно для определения оптимальной продолжительности сушки. Для прогнозирования с помощью предлагаемой математической модели влагосодержания круглой древесины и целых деревьев в процессе естественной сушки, удовлетворяющем вышеприведенные условия, можно использовать статистические данные о климате конкретного района, например из [17, 18].

Ограничения и условия корректного использования результатов исследования

Предлагаемая математическая модель для определения влажности древесины в процессе сушки целых деревьев, уложенных в пачку на открытом воздухе, справедлива только для теплого времени года с положительной среднесуточной температурой окружающего воздуха, когда суммарное испарение $\sum E$ за весь период сушки превышает суммарные

осадки в виде дождя ΣP . Регрессионные зависимости (5) и (6) для определения коэффициентов k_1, k_2 применимы для целых или распиленных пополам деревьев сосны, уложенных под открытым небом приведенным на рис. 1 способом без защиты от атмосферных осадков. Модель применима для естественной сушки в условиях лесосеки деревьев сосны среднего диаметра от 0,05 до 0,18 м, при среднемесячной температуре окружающего воздуха от +3 до +35, при среднемесячной скорости движения, воздуха, обдувающего пачку деревьев, от 0,1 до 3,5 м/с.

Что касается определения продолжительности времени сушки, то для параметров окружающей среды, приведенных в табл. 2, построив график (рис. 2) изменения теоретической влажности древесины, вычисленной по формуле (1), можно сделать вывод, что оптимально закончить процесс сушки можно в конце июня или в конце сентября.

Выводы

По экспериментальным данным получена математическая модель, описывающая изменение содержания влаги в деревьях сосны в процессе их естественной сушки в штабеле на лесосеке. Полученное уравнение регрессии определяет зависимость средней влажности древесины в штабеле от диаметра древесины, количества жидких атмосферных осадков, относительной влажности и температуры окружающего воздуха, средней скорости движения воздуха, обдувающего пачку деревьев, продолжительности естественной сушки.

Отклонение теоретических значений влажности древесины, вычисленных по предлагаемым зависимостям, от экспериментальных данных составляет менее 5 %, что подтверждает адекватность предложенной регрессионной модели (1) и полученных экспериментальных коэффициентов k_1, k_2 (табл. 3, формулы (5) и (6)).

Библиографический список

1. Анисимов, П.Н. Оценка и способы повышения энергетической эффективности производства топливной щепы / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин // Энергетика: эффективность, надежность, безопасность: материалы XXI всероссийской научно-технической конференции. – Томск: Изд-во «Скан», 2015. – Т. 1 – С. 252–255.
2. Анисимов, П.Н. Моделирование работы системы энергообеспечения мобильных технологических линий по производству сухой топливной щепы с использованием части производимого биогенного топлива / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2013. – № 89. – С. 518–530.
3. Анисимов, П.Н. Разработка схемно-конструктивных решений биотопливной когенерационной установки модульного исполнения с двигателем Стирлинга / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин // Труды поволжского государственного технологического университета. Серия: технологическая. – 2015. – № 3. – С. 116–121.
4. Анисимов, П.Н. История развития и перспектива технологий и технических средств заготовки и переработки древесины энергетического назначения / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2013. – № 13. – С. 136–142.
5. Анисимов, П.Н. Анализ результатов вычислительного эксперимента на математической модели мобильной технологической линии для производства топливной щепы с двигателем внешнего сгорания / П.Н. Анисимов, Е.М. Онучин // Научному прогрессу – творчество молодых. Материалы X международной молодежной научной конференции по естественнонаучным и техническим дисциплинам: в 2 частях. – 2015. – С. 226–227.
6. Головкин, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головкин, И.Ф. Коперин, В.И. Найденов. – М.: Лесная пром-сть, 1987. – 224 с.
7. Кузьмин, С.Н. Биоэнергетика: учебное пособие / С.Н. Кузьмин, В.И. Ляшков, Ю.С. Кузьмина. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 79 с.
8. Использование древесной биомассы в энергетических целях: научный обзор / С.П. Кундас и др. – Минск: МГЭУ им А. Д. Сахарова, 2008. – 85 с.
9. Михайлов, Г.М. Пути улучшения использования вторичного древесного сырья / Г.М. Михайлов, Н.А. Серов. – М.: Лесная пром-сть, 1988. – 223 с.
10. Галактионов, О.Н. Исследование естественной сушки пакетов лесоматериалов / О.Н. Галактионов // Перспективы науки. – 2011. – № 12(27). – С. 170–172.
11. Шелгунов, Ю.В. Машины и оборудование лесозаготовок, лесосплава и лесного хозяйства: учеб для вузов / Ю.В. Шелгунов. – М.: Лесная пром-сть, 1982. – 520 с.
12. Музалевский, В.И. Измерение влажности древесины / В.И. Музалевский. – М.: Лесная пром-сть, 1976. – 120 с.
13. Суханов, В. Сезонный характер лесозаготовок / В. Суханов // Журнал ДЕРЕВО.RU : деревообработка и мебельное производство. – 2008. – № 6. – С. 42–45.
14. Внутренние санитарно-технические устройства. В 3 ч. Ч.3. Вентиляция и кондиционирование воздуха. Кн. 1 / В.Н. Богословский, А.И. Пирумов, В.Н. Посохин и др.; Под ред. Н.Н. Павлова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1992. – 319 с.
15. Фильней, М.И. Новые формулы для определения термодинамических свойств водяного пара, содержащегося в атмосферном воздухе // Известия вузов (Строительство и архитектура). – 1966. – № 9. – С. 98.

16. ГОСТ 16588-91. Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности. – Введ. 01.01.1993. – М.: Технический комитет ТК 134, 1991. – 6 с. – (Государственный стандарт Российской Федерации).
17. Научно-прикладной справочник по климату СССР... Многолетние данные. – 1987–1993 гг.
18. ФГБУ «ВНИИГМИ-МЦД» Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации мировой цент данных. Федеральная служба по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. Режим доступа: <http://meteo.ru/>.
19. Erber, G. Comparing Two Different Approaches in Modeling Small Diameter Energy Wood Drying in Logwood Piles / G. Erber, J. Routa, M. Kolström, C. Kanzian, L. Sikanen, K. Stampfer // Croatian Journal of Forest Engineering. – March 2014 – Vol.35 No.1. pp. 15-22.
20. Routa, J. Validation of Prediction Models for Estimating the Moisture Content of Small Diameter Stem Wood / Johanna Routa, Marja Kolström, Johanna Ruotsalainen, Lauri Sikanen // Croatian Journal of Forest Engineering. – May 2014 – Vol.36 No.2. pp. 283-291.
21. Raitila, J. Comparison of Moisture Prediction Models for Stacked Fuelwood / Jyrki Raitila, Veli-Pekka Heiskanen Johanna Routa, Marja Kolström, Lauri Sikanen // BioEnergy Research. – December 2015 – Vol.8, Issue 4, pp. 1896-1905.
22. Kim, D-W. Forecasting air-drying rates of small Douglas-fir and hybrid poplar stacked logs in Oregon, USA / Dong-Wook Kim, Glen Murphy // International Journal of Forest Engineering. – 2013 – Vol. 24, No. 2, pp 137-147.
23. Anil K Rajvanshi. Biomass gasification / Anil K Rajvanshi // Alternative Energy in Agriculture. – 1986 – Vol. II, pp. 83-102.
24. Fagernäs, L. Drying of biomass for second generation synfuel production / L. Fagernäs, J. Brammer, C. Wilen, M. Lauer, F. Verhoeff // Biomass and Bioenergy. – 2010 – No.34. pp. 1267-1277.
25. Gigler, J.K. Natural wind drying of willow stems / J.K. Gigler, W.K.P. van Loonb, J.V. van den Berga, C. Sonnevelda, G. Meerdink // Biomass and Bioenergy. – 2000 – No.19. pp. 153-163.
26. Röser, D. Natural drying methods to promote fuel quality enhancement of small energywood stems / Dominik Röser, Ari Erkkilä, Blas Mola-Yudego, Lauri Sikanen, Robert Prinz, Antti Heikkinen, Heikki Kaipainen, Heikki Oravainen, Kari Hillebrand, Beatrice Emer and Kari Väätäinen // Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. – 2010 – 60 p.
27. Pettersson, M. Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees / M. Pettersson, T. Nordfjell // Biomass and Bioenergy – 2007 – No.31. pp. 782-792.

FIELD RESEARCH OF NATURAL DRYING OF FUELWOOD IN BUNCH ON THE CUTTING AREA

Anisimov P.N., *pg.* VSUT⁽¹⁾; Onuchin E.M., *Assoc. Prof.*, VSUT, *Ph.D. (Tech.)* ⁽¹⁾

anisimovpn@volgatech.net, onuchinem@volgatech.net

⁽¹⁾Volga State University of Technology (VSUT), Lenin Sq., 3, 424000, Yoshkar-Ola, the Republic of Mari El, Russia

It is known that at increase of humidity of wood fuel decreases its calorific ability and efficiency of the power equipment decreases. Natural atmospheric drying is applied for the purpose of improvement of the quality of fuel wood. The goal of this research is to receive mathematical model of natural drying of the whole trees in bunch on a cutting area on the basis of experimental data. The field research of natural drying from March to October 2015 of the whole trees of a pine and birch of different diameter laid definitely in bunch on a cutting area was conducted for this purpose. The mathematical model describing change of moisture content in wood in the course of natural drying in bunch on a cutting area was as a result developed. The received equation of regression defines dependence of average humidity of wood in a bunch from diameter of wood, quantity of a liquid atmospheric precipitation, relative humidity and temperature of air, average speed of the movement of the air blowing in bunch of trees, durations of natural drying. The developed mathematical model allows to predict change of moisture content of wood in the course of natural drying with a margin error less than 5 %. Humidity of wood in the course of natural drying from March to October was on average reduced from 52 % to 27 %. Besides, in article the technology of logging of fuelwood on an energy forest is offered. The technology of stacking of trees in bunch at logging of the fuelwood which is grown up on forest plantations is offered. Results of research can be used for increase of production efficiency of wood fuel. The offered mathematical model can be used in practice for forecasting of change of wood moisture content of the whole trees in bunch. Mathematical model can be used also for determination of optimum duration of natural open-air drying.

Keywords: Natural drying, Drying model, Moisture content, Fuelwood, Energy forest.

References

1. Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Otsenka i sposoby povysheniya energeticheskoy effektivnosti proizvodstva toplivnoy shchepy* [Analysis and ways of increase of power production efficiency of chip fuel] *Energetika: effektivnost', nadezhnost', bezopasnost': materialy XXI vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Power engineering: efficiency, reliability, safety: Proceedings of the XXI-st All-Russian scientific and technical conference], Tomsk: Skan Publ., 2015, V. 1, pp. 252-255.
2. Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Modelirovanie raboty sistemy energoobespecheniya mobil'nykh tekhnologicheskikh liniy po proizvodstvu sukhoy toplivnoy shchepy s ispol'zovaniem chasti proizvodimogo biogennogo topliva* [Modelling of the energy supply system of mobile technological lines for the production of dry fuel wood chips with the partial usage of the producible biogenic fuel]. *Politematicheskii setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University]. Krasnodar: KubSAU Publ., 2013, № 89, pp. 518-530.

3. Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Razrabotka skhemno-konstruktivnykh resheniy biotoplivnoy kogeneratsionnoy ustanovki modul'nogo ispolneniya s dvigatelem Stirlinga* [Development of schematics and design solutions of elements of external combustion engine with a device for preparing, filing, and wood combustion] Trudy povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: tekhnologicheskaya [Collected papers of Volga State University of Technology. Series: Technology]. Yoshkar-Ola: Volga Tech Publ., 2015, № 3, pp. 116-121.
4. Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Istoriya razvitiya i perspektiva tekhnologiy i tekhnicheskikh sredstv zagotovki i pererabotki drevesiny energeticheskogo naznacheniya* [History of development and prospect of technologies and techniques of logging and processing of fuelwood]. Aktual'nye problemy lesnogo kompleksa [Actual problems of timber industry], Bryansk: BHITA Publ., 2013, № 13, pp. 136-142.
5. Anisimov P.N., Onuchin E.M. *Analiz rezul'tatov vychislitel'nogo eksperimenta na matematicheskoy modeli mobil'noy tekhnologicheskoy linii dlya proizvodstva toplivnoy shchepy s dvigatelem vneshnego sgoraniya* [The analysis of results of computing experiment on mathematical model of the mobile technological line for production of chip fuel with use of the Stirling engine]. Nauchnomu progressu – tvorchestvo molodykh Materialy X mezhdunarodnoy molodezhnoy nauchnoy konferentsii po estestvennonauchnym i tekhnicheskim distsiplinam [Proceedings of the X International Youth Scientific Conference on natural-science and engineering disciplines]. Yoshkar-Ola: Publ. Volga Tech, 2015, pp. 226-227.
6. Golovkov S.I., Koperin I.F., Naydenov V.I. *Energeticheskoe ispol'zovanie drevesnykh otkhodov* [Wood waste utilization as an energy source]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry Publ.], 1987. 224 p.
7. Kuz'min S.N., Lyashkov V.I., Kuz'mina Yu.S. *Bioenergetika* [Bioenergy], Tambov: TGTU Publ., 2011, 79 p.
8. Kundas S.P. *Ispol'zovanie drevesnoy biomassy v energeticheskikh tselyakh* [Wood-biomass utilization as an energy source], Minsk: ISEI BSU Publ., 2008, 85 p.
9. Mikhaylov G.M., Cepov, N.A. *Puti uluchsheniya ispol'zovaniya vtorichnogo drevesnogo syr'ya* [Ways of improvement of use of secondary wood raw materials], Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1988, 223 p.
10. Galaktionov O.N. *Issledovanie estestvennoy sushki paketov lesookhodov* [Research into Natural Drying of Timber Waste] Perspektivy nauki [Science prospects], 2011, № 12(27), pp. 170-172.
11. Shelgunov Yu.V. *Mashiny i oborudovanie lesozagotovok, lesosplava i lesnogo khozyaystva* [Machines and equipment of logging, timber rafting and forestry]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1982, 520 p.
12. Muzalevskiy V.I. *Izmerenie vlazhnosti drevesiny* [Measurement of wood humidity]. Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Timber industry], 1976. 120 p.
13. Suhanov V. *Sezonnyy kharakter lesozagotovok* [Seasonal nature of logging] DEREVO.RU, 2008, № 6, pp. 42-45.
14. Bogoslovskiy V.N., Pirumov A.I., Posokhin V.N. *Vnutrennie sanitarno-tekhnicheskie ustroystva. Ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukh* [Ventilation and air conditioning], Moscow: Stroyizdat, 1992, P. 3, Book. 1, 319 p.
15. Fil'ney M.I. *Novye formuly dlya opredeleniya termodinamicheskikh svoystv vodyanogo para, sodержashchegosya v atmosfernom vozdukh* [New formulas for determination of thermodynamic properties of the water vapor containing in atmospheric air]. Izvestiya vuzov (Stroitel'stvo i arkhitektura) [News of higher education institutions (Construction and architecture)]. 1966, № 9, 98 p.
16. *GOST 16588-91. Piloproduktsiya i derevyannye detali. Metody opredeleniya vlazhnosti* [Industry standard № 16588-91], Moscow: Technical Activities Committee TK 134, 1991, 6 p.
17. *Nauchno-prikladnyy spravochnik po klimatu SSSR...Mnogoletnie dannye* [Scientific and applied reference book on climate of the USSR... Long-term data], 1987-1993.
18. *FGBU «VNIIGMI-MTsD» Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut gidrometeorologicheskoy informatsii mirovoy tsent dannykh. Federal'naya sluzhba po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy* [RIHMI-WDC]: <http://meteo.ru/>.
19. Erber G. Comparing Two Different Approaches in Modeling Small Diameter Energy Wood Drying in Logwood Piles. G. Erber, J. Routa, M. Kolström, C. Kanzian, L. Sikanen, K. Stampfer. Croatian Journal of Forest Engineering. March 2014. Vol.35 No. 1. pp. 15-22.
20. Routa J. Validation of Prediction Models for Estimating the Moisture Content of Small Diameter Stem Wood. Johanna Routa, Marja Kolström, Johanna Ruotsalainen, Lauri Sikanen. Croatian Journal of Forest Engineering. May 2014. Vol.36 No. 2. pp. 283-291.
21. Raitila J. Comparison of Moisture Prediction Models for Stacked Fuelwood. Jyrki Raitila, Veli-Pekka Heiskanen Johanna Routa, Marja Kolström, Lauri Sikanen. BioEnergy Research. December 2015. Vol. 8, Is. 4, pp. 1896-1905.
22. Kim D-W. Forecasting air-drying rates of small Douglas-fir and hybrid poplar stacked logs in Oregon, USA. Dong-Wook Kim, Glen Murphy. International Journal of Forest Engineering. 2013. V. 24, No. 2, pp 137-147.
23. Anil K Rajvanshi. Biomass gasification. Anil K Rajvanshi. Alternative Energy in Agriculture. 1986. Vol. II, pp. 83-102.
24. Fagnäs L. Drying of biomass for second generation synfuel production. L. Fagnäs, J. Brammer, C. Wilen, M. Lauer, F. Verhoeff. Biomass and Bioenergy. 2010. No. 34. pp. 1267-1277.
25. Gigler J.K. Natural wind drying of willow stems. J.K. Giglera, W.K.P. van Loonb, J.V. van den Berga, C. Sonnevelda, G. Meerdink. Biomass and Bioenergy. 2000. No. 19. pp. 153-163.
26. Röser D. Natural drying methods to promote fuel quality enhancement of small energywood stems / Dominik Röser, Ari Erkkilä, Blas Mola-Yudego, Lauri Sikanen, Robert Prinz, Antti Heikkinen, Heikki Kaipainen, Heikki Oravainen, Kari Hillebrand, Beatrice Emer and Kari Väättäinen. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute. 2010. 60 p.
27. Pettersson M. Fuel quality changes during seasonal storage of compacted logging residues and young trees. M. Pettersson, T. Nordfjell. Biomass and Bioenergy. 2007. No. 31. pp. 782-792.

УДК 336.7

ПОСТРОЕНИЕ ПРОГНОЗНЫХ МОДЕЛЕЙ ДИНАМИКИ ИЗМЕНЕНИЯ ЦЕН НА ДРЕВЕСИНУ И ПИЛОМАТЕРИАЛЫ

А.Ю. ЕРМАКОВА, *старший преподаватель РЭА им. Г.В. Плеханова*⁽¹⁾

a.alla1105@mail.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова», 117997, г. Москва, Стремянный пер., 36

Исследуются методы прогнозирования экономических показателей и динамики их изменения. Предлагается способ построения прогнозной модели, предполагающий поиск аппроксимирующей функции на основе метода наименьших квадратов. Для реализации данного метода разработано соответствующее программное обеспечение, позволяющее строить указанные аппроксимирующие функции и их графики по значениям прогнозируемых характеристик за предыдущие временные интервалы. Предложенный метод применяется для построения прогнозных оценок динамики изменения цен на древесину и пиломатериалы.

Ключевые слова: прогнозная модель, прогнозируемые показатели, аппроксимирующая функция, метод наименьших квадратов, древесина, пиломатериалы.

В условиях расширяющегося экономического кризиса весьма актуальной является задача прогнозирования различного рода показателей, в первую очередь экономических, таких как, например, цены на энергоресурсы, курсы валют и драгоценных металлов, прогноз развития ВВП и аналогичных показателей. Прогноз цен на энергоресурсы особенно актуален в условиях, когда они являются основой формирования бюджетной политики государства. Однако актуальной является задача прогнозирования экономических показателей и в других областях хозяйственной деятельности, в частности, в лесозаготовках, производстве и торговле пиломатериалами. Необходимость в таких прогнозах возникает, например, при определении необходимого объема заготовок древесины и мощностей для их переработки и решения других важных аналогичных вопросов.

В настоящей статье излагаются результаты разработки прогнозной модели на основе построения аппроксимирующих функций. Ранее в работах [1–3] дан краткий обзор существующих решений, а указанный метод применялся к задаче прогнозирования валютных курсов и котировок драгоценных металлов. При построении указанных прогнозных моделей и поиске соответствующих аппроксимирующих функций применялся метод наименьших квадратов, реализованный в пакете прикладных программ «Wolfram Mathematica» [4], который, в свою очередь, имеет ряд ограничений в применении. С це-

лью преодоления возникающих ограничений и расширения возможности применения методов аппроксимации разработано программное обеспечение, реализующее алгоритм наименьших квадратов и имеющее значительно более широкий спектр возможностей, чем пакет «Wolfram Mathematica». В частности, значительно расширен перечень базовых функций, предусмотрена как ручная, так и автоматическая процедура перебора параметров при поиске аппроксимирующей функции, обеспечивающей наилучшее приближение на заданном временном интервале.

Описание методов аппроксимации

Метод наименьших квадратов ([5]) (далее – МНК) является одним из способов аппроксимации таблично заданной функции некоторым базисным набором функций, выбор которых основан на определенном критерии, позволяющем выявить особенности заданных входных значений. В качестве оценки качества приближения используется сумма квадратов отклонений аппроксимирующей функции от значений в узлах таблицы.

Формальная постановка задачи осуществляется следующим образом. Пусть на отрезке $[a, b]$ задана одномерная сетка

$$X_x = \{x_i / x_i = x_{i-1} + h_i, h_i > 0, \\ i = 1, 2, 3, \dots, n; x_0 = a, x_n = b\},$$

в узлах x_i которой заданы значения $y_i = f(x_i)$, $i = 0, 1, 2, \dots, n$ – соответствующие значения функции $f(x)$.

Пусть также для аппроксимации табличных данных выбран некоторый класс функций $\Phi(x, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m)$, $m < n$, где $c_0, c_1, c_2, \dots, c_m$ – коэффициенты, выбор значений которых позволяет определить конкретную функцию из выбранного класса. Требуется найти значения коэффициентов $c_0, c_1, c_2, \dots, c_m$, для которых выполнено условие

$$\Phi(c_0, c_1, c_2, \dots, c_m) = \sum_{i=0}^n (y_i - \varphi(x_i, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m))^2 \rightarrow \min. \quad (1)$$

Критерий (1), на основании которого осуществляется выбор значений коэффициентов $c_0, c_1, c_2, \dots, c_m$, является основой МНК. Выбранные в соответствии с этим критерием значения коэффициентов позволяют определить конкретную функцию, наиболее согласованную с табличными (экспериментальными) данными или, иначе говоря, обеспечивающую наилучшее среднеквадратическое приближение.

Функция $\Phi(x, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m)$ называется моделью, а искомые коэффициенты $c_0, c_1, c_2, \dots, c_m$ – параметрами модели. В дальнейшем ограничимся рассмотрением случая, когда модель линейно зависит от параметров и ее можно представить в виде

$$\Phi(x, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m) = c_0 \varphi_0(x) + c_1 \varphi_1(x) + c_2 \varphi_2(x) + \dots + c_m \varphi_m(x). \quad (2)$$

Модель вида (2) часто называют обобщенным полиномом. Здесь $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \dots,$

$\varphi_m(x)$ – множество так называемых базисных функций. Базисные функции могут быть как линейными, так и нелинейными функциями переменной x . Независимо от этого модель (2) остается линейной, поскольку она линейно зависит от параметров модели c_0, c_1, \dots, c_m .

В качестве базисных функций могут быть выбраны, например, степенные функции $\varphi_0(x) = 1, \varphi_1(x) = x, \varphi_2(x) = x^2, \dots, \varphi_m(x) = x^m$.

Тогда модель будет представлять собой полином степени m

$$\Phi(x, c_0, c_1, c_2, \dots, c_m) = c_0 + c_1 x + c_2 x^2 + \dots + c_m x^m. \quad (3)$$

Очевидно, что в качестве базисных функций могут быть использованы и другие функции, необходимо лишь, чтобы они были линейно независимыми.

Таким образом, для линейной модели (2) требуется найти значения параметров c_0, c_1, \dots, c_m , обеспечивающих выполнение условия (1).

С математической точки зрения поставленная задача является задачей поиска минимума функции нескольких переменных, ее минимум можно искать, исходя из необходимых условий экстремума для функций нескольких переменных.

Запишем эти условия в виде системы линейных уравнений и преобразуем ее к виду

$$\begin{cases} c_0 \sum_{i=0}^n \varphi_0^2(x_i) + c_1 \sum_{i=0}^n \varphi_0(x_i)\varphi_1(x_i) + c_2 \sum_{i=0}^n \varphi_0(x_i)\varphi_2(x_i) + \dots + c_m \sum_{i=0}^n \varphi_0(x_i)\varphi_m(x_i) = \sum_{i=0}^n y_i \varphi_0(x_i), \\ c_0 \sum_{i=0}^n \varphi_1(x_i)\varphi_0(x_i) + c_1 \sum_{i=0}^n \varphi_1^2(x_i) + c_2 \sum_{i=0}^n \varphi_1(x_i)\varphi_2(x_i) + \dots + c_m \sum_{i=0}^n \varphi_1(x_i)\varphi_m(x_i) = \sum_{i=0}^n y_i \varphi_1(x_i), \\ c_0 \sum_{i=0}^n \varphi_2(x_i)\varphi_0(x_i) + c_1 \sum_{i=0}^n \varphi_2(x_i)\varphi_1(x_i) + c_2 \sum_{i=0}^n \varphi_2^2(x_i) + \dots + c_m \sum_{i=0}^n \varphi_2(x_i)\varphi_m(x_i) = \sum_{i=0}^n y_i \varphi_2(x_i), \\ \dots \\ c_0 \sum_{i=0}^n \varphi_m(x_i)\varphi_0(x_i) + c_1 \sum_{i=0}^n \varphi_m(x_i)\varphi_1(x_i) + c_2 \sum_{i=0}^n \varphi_m(x_i)\varphi_2(x_i) + \dots + c_m \sum_{i=0}^n \varphi_m^2(x_i) = \sum_{i=0}^n y_i \varphi_m(x_i). \end{cases} \quad (4)$$

Матрица системы линейных уравнений (4) носит название матрицы Грамма и имеет вид

$$G = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^n \varphi_0^2(x_i) & \sum_{i=0}^n \varphi_0(x_i)\varphi_1(x_i) & \sum_{i=0}^n \varphi_0(x_i)\varphi_2(x_i) & \dots & \sum_{i=0}^n \varphi_0(x_i)\varphi_m(x_i) \\ \sum_{i=0}^n \varphi_1(x_i)\varphi_0(x_i) & \sum_{i=0}^n \varphi_1^2(x_i) & \sum_{i=0}^n \varphi_1(x_i)\varphi_2(x_i) & \dots & \sum_{i=0}^n \varphi_1(x_i)\varphi_m(x_i) \\ \sum_{i=0}^n \varphi_2(x_i)\varphi_0(x_i) & \sum_{i=0}^n \varphi_2(x_i)\varphi_1(x_i) & \sum_{i=0}^n \varphi_2^2(x_i) & \dots & \sum_{i=0}^n \varphi_2(x_i)\varphi_m(x_i) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \sum_{i=0}^n \varphi_m(x_i)\varphi_0(x_i) & \sum_{i=0}^n \varphi_m(x_i)\varphi_1(x_i) & \sum_{i=0}^n \varphi_m(x_i)\varphi_2(x_i) & \dots & \sum_{i=0}^n \varphi_m^2(x_i) \end{bmatrix}$$

Очевидно, что матрица G симметричная. Можно показать, что она положительно определена. Определитель матрицы G отличен от нуля в силу линейной независимости базисных функций $\varphi_0(x), \varphi_1(x), \dots, \varphi_m(x)$. Следовательно, система (4) имеет единственное решение, которое может быть найдено любым из известных методов решения такого вида систем. В результате решения системы (4) будут найдены значения модельных параметров (c_0, c_1, \dots, c_m) и определена наилучшая в указанном выше смысле модель $\Phi(x, c_0, c_1, \dots, c_m)$.

Описание разработанной программы.

Ввод исходных данных в программу осуществляется посредством таблично заданных значений в формате Excel следующего вида (табл. 1).

В табл. 1 первый столбец – значения величин x_i , второй столбец – значения величин y_i .

Интерфейс программы

Работа с программой начинается с нажатия кнопки «Чтение таблицы» и выбора необходимого файла с исходными данными. В случае успешного чтения первая таблица заполняется данными из Excel файла. Если при попытке чтения произошла ошибка либо файл был пустой, появляется сообщение «Ошибка чтения из файла».

После успешной загрузки файла становятся доступны остальные функции программы. Кнопка «МНК1» запускает алгоритм поиска многочлена аппроксимирующей функцией методом наименьших квадратов с базисными функциями x^i . Степень многочлена можно менять в поле «Степень». При этом в первой таблице в четвертом столбце $f(x_i)$ появятся значения аппроксимирующей функции в заданных точках, будет построен график и посчитано среднеквадратическое отклонение по узлам таблично заданной функции. Коэффициенты при соответствующих слагаемых многочлена выводятся во вторую таблицу. При изменении степени многочлен пересчитывается автоматически и все изменения отображаются на графике и в таблицах.

Кнопка «МНК2» без пометки «Авто» запускает алгоритм поиска аппроксимирующей

функции методом наименьших квадратов с базисными функциями, выбранными в третьей таблице (количество, порядок, комбинация и дополнительные параметры выбираются любыми, но в случае линейной зависимости программа выдаст ошибку). После успешного выполнения алгоритма результат выводится аналогично, но коэффициенты во второй таблице уже соответствуют коэффициентам базисных функций в самой аппроксимирующей функции.

Если при нажатии кнопки «МНК2» стоит пометка «Авто», то набор базисных

Т а б л и ц а 1

Формат исходных данных
The format of the original data

	A	B
1	1	0,841471
2	2	0,909297
3	3	0,14112
4	4	-0,7568
5	5	-0,95892
6	6	-0,27942
7	7	0,656987
8	8	0,989358
9	9	0,412118
10	10	-0,54402
11	11	-0,99999
12	12	-0,53657
13	13	0,420167
14	14	0,990607
15	15	0,650288
16	16	-0,2879
17	17	-0,9614
18	18	-0,75099
19	19	0,149877
20	20	0,912945

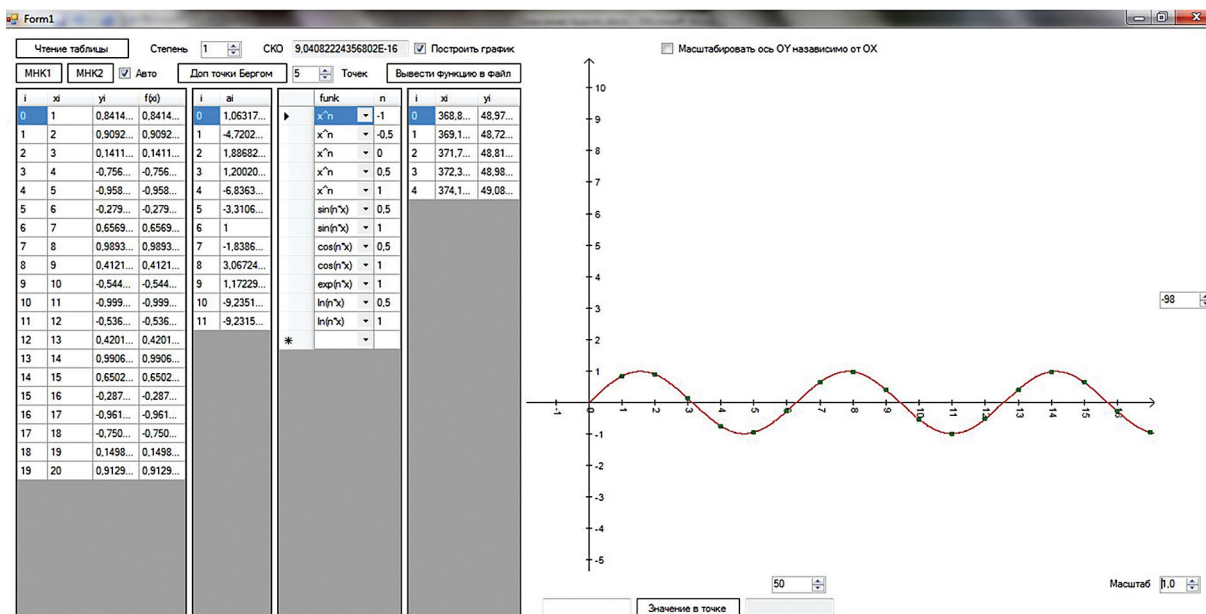


Рис. 1. Интерфейс программы
Fig. 1. The program interface

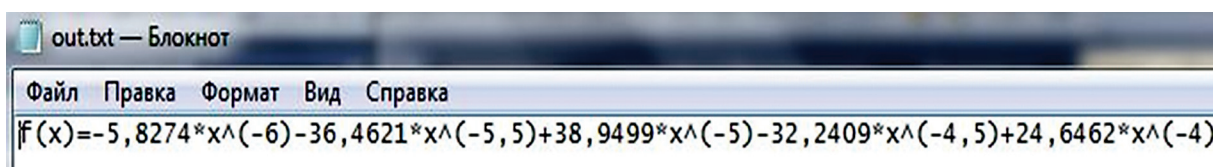


Рис. 2. Вид аппроксимирующей функции
Fig. 2. Type of approximating function

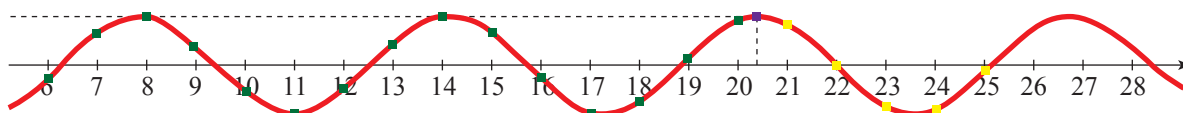


Рис. 3. График аппроксимирующей функции
Fig. 3. Schedule approximating function

функций и параметров для них определяется автоматически, путем перебора используемых различных комбинаций базисных функций и параметров. Сложность рассматриваемых комбинаций регулируется значением в поле «Степень». Критерием для выбора оптимальной конфигурации служит минимальное среднеквадратическое отклонение в узлах таблично заданной функции среди рассмотренных вариантов. Вывод результатов аналогичен режиму без автоматического подбора базисных функций, разница заключается в том, что оптимальный набор базисных функций появится в третьей таблице автоматически.

Для вывода аппроксимирующей функции предусмотрена кнопка «Вывести функцию в файл», с помощью которой найденная функция выводится в указанный файл (рис. 2) для возможного последующего использования в математических приложениях.

Программа предусматривает возможность построения графиков аппроксимирующих функций, которые демонстрируют характер ее изменения. Пример построения графика приведен на рис. 3. При вычислении заданного прогнозного значения оно указывается на графике аппроксимирующей функции.

Динамика цен на бревна и пиломатериалы хвойных и лиственных пород

Dynamics of prices for logs and sawn softwood and hardwood

Дата	Цена на бревна хвойных пород, \$/м ³	Цена на бревна лиственных пород, \$/м ³	Цена на пиломатериалы хвойных пород, \$/м ³	Цена на пиломатериалы лиственных пород, \$/м ³
03.2012	147	357	260,65	886,5
04.2012	128	353,5	295,41	896,37
05.2012	148,87	367	300,32	892,15
06.2012	145,65	362	292,12	862,85
07.2012	134,35	357,2	295,21	857,91
08.2012	141,41	354,7	291,35	856,65
09.2012	175,5	353,53	299,63	878,25
10.2012	152,15	350,2	289,07	873,35
11.2012	166,1	353	284,11	870
12.2012	149,3	354,8	276,5	879,95
01.2013	152,62	334,12	275,6	870,6
02.2013	152,62	319,7	275,6	842,87
03.2013	164,07	313,78	280,65	822
04.2013	160,55	304,52	300,72	834,37
05.2013	168,92	294,77	321,82	833,2
06.2013	174,8	306	323,47	844,61
07.2013	150,6	298,77	318,81	827,7
08.2013	165,6	304,4	299,74	845,05
09.2013	159,25	300,11	303,41	865,13
10.2013	165,9	304,32	291,47	876,97
11.2013	183,62	297,35	296,7	878,25
12.2013	172,54	287,35	324,87	892,83
01.2014	165,97	286,6	299,99	897,77
02.2014	189,97	291,85	295,57	902,19
03.2014	179,2	290,9	322,87	905,75
04.2014	165,5	290,32	308,41	912,5
05.2014	177,88	292	317,95	918,05
06.2014	165,6	291,72	311,35	921,35
07.2014	178,3	292,7	316,32	930,6
08.2014	157,7	289,17	312,5	910,32
09.2014	166,24	277,55	296,17	889
10.2014	193,35	275,65	297,67	875,77
11.2014	167,32	256,13	302,74	859,9
12.2014	170,1	249,4	305,75	852,17
01.2015	170,1	249,4	315,35	826,7
02.2015	170,1	249,4	315,35	835,2
03.2015	169,5	249,5	315,35	816,6
04.2015	168,96	249,41	305,25	814,23
05.2015	159,31	246,5	293,23	842,46
06.2015	149,14	240,57	295,61	847,75
07.2015	153,68	241,27	307,46	848,07
08.2015	152,75	241,75	311,62	849,97
09.2015	172,89	247,78	312,01	836,74
10.2015	159,37	248,08	328,96	835,81
11.2015	151,07	242,9	319,42	828,62
12.2015	151,07	244,62	319,42	816,85

Прогноз цены на бревна и пиломатериалы хвойных пород

The forecast prices for logs and sawn softwood

Дата	Цена на бревна хвойных пород, \$/м ³	Относительная ошибка, %	Цена на пиломатериалы хвойных пород, \$/м ³	Относительная ошибка, %
01.2015	171,60	0,8	313,93	0,4
02.2015	169,10	0,5	307,52	2,4
03.2015	166,95	1,5	302,96	3,9
04.2015	166,70	1,3	304,46	0,25
05.2015	166,80	4,4	310,60	5,0
06.2015	163,20	8,0	309,70	4,7
07.2015	162,20	5,5	315,00	2,0
08.2015	162,20	4,1	309,00	0,8
09.2015	159,14	7,8	303,10	2,8
10.2015	157,30	1,5	307,50	6,0
11.2015	156,50	2,2	313,54	1,8
12.2015	154,80	2,4	314,48	1,5

Прогноз изменения цен на древесину и пиломатериалы

Рассмотрим работу предложенного метода на примере построения прогнозной модели динамики изменения цен на древесину и пиломатериалы. Как отмечалось выше, необходимость в таких прогнозах возникает, например, при определении необходимого объема заготовок древесины и мощностей для их переработки и решения других важных аналогичных вопросов.

В табл. 2 приведены обобщенные данные динамики мировых цен на бревна и пиломатериалы хвойных и лиственных пород определяемые в долларах за кубический метр (\$/м³). Данные соответствуют ежегодным обзорам [6] цен мирового рынка на бревна и пиломатериалы хвойных и лиственных пород.

На рис. 4–7 приведен явный вид и графическое представление аппроксимирующих функций $F_i(x)$, $i=1, 2, 3, 4$, построенных описанным выше методом по данным табл. 2 и определяющих соответствующие прогнозные модели.

Прогноз цены на бревна хвойных пород

Прогнозная функция $F_1(x)$ (рис. 4) динамики изменения цен на бревна хвойных пород, построенная по данным табл. 2, имеет вид

$$F_1(x) = 124,1057 + 71,68/x^2 + 3,2844x - 0,0549x^2 - 1,8051\sin[x].$$

На представленном графике по оси ОХ за нулевое значение принят январь 2012 г., точками отмечены данные за прошлый период, последняя точка соответствует декабрю 2014 г. По оси ОУ приведены значения цены на бревна

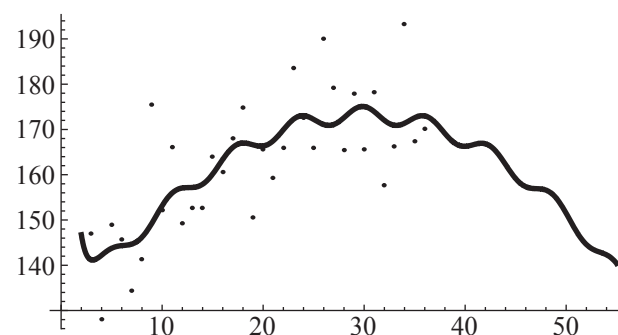


Рис. 4. График функции $F_1(x)$
Fig. 4. The graph of the function $F_1(x)$

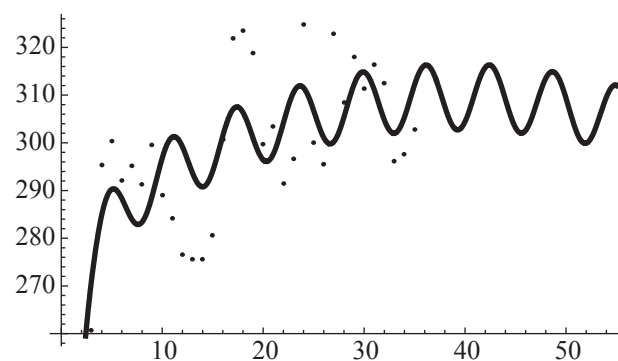


Рис. 5. График функции $F_2(x)$
Fig. 5. The graph of the function $F_2(x)$

Прогноз цены на бревна лиственных пород на период с января по декабрь 2016 г.
The forecast prices for hardwood logs for the period from January to December 2016

Дата	Цена на бревна лиственных пород, \$/м ³
01.2016	256,40
02.2016	257,77
03.2016	259,63
04.2016	260,57
05.2016	260,09
06.2016	259,11
07.2016	259,13
08.2016	260,83
09.2016	263,46
10.2016	265,54
11.2016	266,18
12.2016	265,96

Прогноз цены на пиломатериалы лиственных пород на период с января по июнь 2016 год
The forecast prices for sawn hardwood in the period from January to June 2016

Дата	Цена на пиломатериалы лиственных пород (\$/м ³)
01.2016	808,19
02.2016	796,41
03.2016	788,14
04.2016	785,17
05.2016	784,18
06.2016	779,82

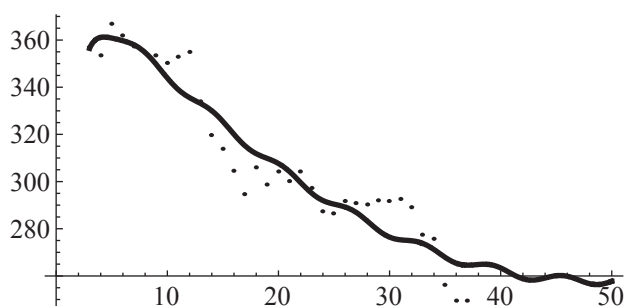


Рис. 6. График функции $F_3(x)$
 Fig. 6. The graph of the function $F_3(x)$

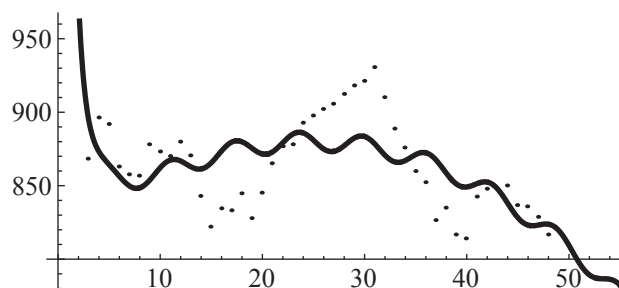


Рис. 7. График функции $F_4(x)$
 Fig. 7. Graph of the function $F_4(x)$

хвойных пород в долларах за 1 м³ (\$/м³), за нулевое значение принята величина 130 (\$/м³).

Прогноз цены на пиломатериалы хвойных пород

Прогнозная функция $F_2(x)$ (рис. 5) динамики изменения цен на пиломатериалы

хвойных пород, построенная по данным табл. 2, имеет вид

$$F_2(x) = 281,9937 - 123,4368/x^2 + 1,411x - 0,0179x^2 - 6,8885\sin[x].$$

На представленном графике по оси ОХ за нулевое значение принят март 2012 г., точками отмечены данные за прошлый пери-

од, последняя точка соответствует декабрю 2014 г. По оси ОУ приведены значения цены на пиломатериалы хвойных пород, за нулевое значение принята величина 260 (\$/м³).

С целью проверки точности прогнозирования, в табл. 3 представлены прогнозные значения цены на бревна и пиломатериалы хвойных пород на период с января по декабрь 2015 г. и относительные ошибки (в %) прогнозирования рассматриваемого метода.

Как следует из данных табл. 3, в первом случае среднее значение относительной ошибки прогнозирования рассматриваемого метода составляет 3,3 %, а во втором случае – 2,4 %.

Далее, пользуясь обобщенными данными табл. 2, построим прогноз изменения динамики цен на бревна лиственных пород на период с января по декабрь 2016 г. и пиломатериалы этих пород на период с января по июнь 2016 г.

Прогноз цены на бревна лиственных пород

Прогнозная функция $F_3(x)$ (рис. 6) динамики изменения цен на бревна лиственных пород, построенная по данным табл. 2, имеет вид

$$F_3(x) = 399,9111 - 239,6520/x^2 - 5,8778x + 0,0609x^2 + 1,6970\sin[x].$$

На представленном графике по оси ОХ за нулевое значение принят март 2012 г., точками отмечены данные за прошлый период, последняя точка соответствует декабрю 2014 г. По оси ОУ приведены данные цены на пиломатериалы хвойных пород, за нулевое значение принята величина 260 (\$/м³).

В табл. 4 представлены прогнозные значения цены на бревна лиственных пород на период с января по декабрь 2016 г.

Прогноз цены на пиломатериалы лиственных пород

Прогнозная функция $F_4(x)$ (рис. 7) динамики изменения цен на пиломатериалы лиственных пород, построенная по данным табл. 2, имеет вид

$$F_4(x) = 799,2373 + 836,2173/x^2 + 6,2365x - 0,2119x^2 - 6,1066\sin[x].$$

На представленном графике по оси ОХ за нулевое значение принят март 2012 г., точками отмечены данные за прошлый период, последняя точка соответствует декабрю 2015 г. По оси ОУ приведены данные цены на пиломатериалы хвойных пород, за нулевое значение принята величина 800 (\$/м³).

В табл. 5 представлены прогнозные значения цены на пиломатериалы лиственных пород на период с января по июнь 2016 г.

Заключение

В настоящей статье продолжены начатые в работах [1–3] исследования методов разработки прогнозных моделей динамики изменения экономических показателей на основе построения аппроксимирующих функций. Разработано программное обеспечение, позволяющее строить указанные функции как в ручном, так и в автоматическом режиме. В качестве примера применения данного метода рассмотрена задача построения прогнозных оценок динамики изменения мировых цен на древесину, в частности, цены на бревна и пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Приведены экспериментальные результаты оценки точности прогнозирования рассматриваемого метода, относительные ошибки прогнозирования в рассмотренных случаях не превосходили значения 4 %.

Библиографический список

1. Ермакова, А.Ю. Оценка качества прогнозирования динамики изменения валютных курсов на основе построения аппроксимирующих функций / А.Ю. Ермакова // Качество. Инновации. Образование. – 2013. – № 2 (93). – С. 71–79.
2. Ермакова, А.Ю. Исследование качества прогнозирования биржевых курсов драгоценных металлов / А.Ю. Ермакова // Качество. Инновации. Образование. – 2014. – № 1 (104). – С. 49–56.
3. Ермакова, А.Ю. Построение прогнозных моделей динамики изменения экономических показателей / А.Ю. Ермакова // Актуальные проблемы социально-экономических исследований. – Материалы III Международной конференции. – М., 2013. – С. 66–71.
4. Васильев, А.Н. Mathematica / А.Н. Васильев. – «Корона век». – СПб. – 2008. – 447 с.
5. Рыбников, К.К. Введение в дискретную математику и теорию решения экстремальных задач на конечных множествах / К.К. Рыбников. – М.: Гелиос АРВ, 2010. – 317 с.
6. Цены мирового рынка на древесину. Лиственные и хвойные породы. Режим доступа: <http://www.lesonline.ru>, свободный (дата обращения 28.03.2016)

CONSTRUCTION PREDICTIVE MODELS OF THE DYNAMICS OF CHANGES THE PRICE OF TIMBER AND LUMBER

Ermakova A.Y., senior lecturer, Plekhanov Russian University of Economics⁽¹⁾

a.alla1105@mail.ru

⁽¹⁾Plekhanov Russian University of Economics, Stremyanny lane, 36, Moscow, 117997, Russia

The article deals with methods of forecasting economic indicators and their dynamics. We propose a method of constructing a predictive model, involving finding the approximation function based on the method of least squares. For implementation of this method the appropriate software is developed, allowing to build the specified approximating functions and their graphs the predicted values of the characteristics for the previous time intervals. The proposed method is applied to construct the forecast estimates dynamics of changing prices for wood and lumber. In article results of research of methods of forecasting of economic indicators and dynamics of their changes. We propose a method of constructing a predictive model involving the search of approximating function on the basis of the method of least squares. The construction of the approximating function is carried out using the developed software. The proposed method is applied to build predictive assessments of the change dynamics of prices for timber and lumber.

Keywords: predictive model, projections, approximation function, least squares method, wood, lumber.

References

1. Ermakova A.Yu. *Otsenka kachestva prognozirovaniya dinamiki izmeneniya valyutnykh kursov na osnove postroeniya approksimiruyushchikh funktsiy* [Evaluation of the quality of forecasting the dynamics of changes in exchange rates on the basis of approximating functions], *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Innovation. Education], 2013, № 2 (93), pp. 71-79.
2. Ermakova A.Yu. *Issledovanie kachestva prognozirovaniya birzhevnykh kursov dragotsennykh metallov* [Study of the quality of forecasting exchange rates of precious metals], *Kachestvo. Innovatsii. Obrazovanie* [Quality. Innovation. Education], 2014, № 1 (104), pp. 49-56.
3. Ermakova A. Yu. *Postroenie prognoznykh modeley dinamiki izmeneniya ekonomicheskikh pokazateley* [Building predictive models of the dynamics of changes in economic indicators]. *Aktual'nye problemy sotsial'no-ekonomicheskikh issledovaniy. Materialy III Mezhdunarodnoy konferentsii* [Topical problems of socio-economic Research Materials. III of the International konferentsii], Moskva, 2013, pp. 66-71.
4. Vasil'ev A.N. *Mathematika* [Mathematica], SPb: Korona vek Publ., 2008, 447 p.
5. Rybnikov K.K. *Vvedenie v diskretnuyu matematiku i teoriyu resheniya ekstremal'nykh zadach na konechnykh mnozhestvakh* [Introduction to discrete mathematics and theory for solving extremal problems for finite sets], Moscow: Gelios ARV, 2010, 317 p.
6. *Tseny mirovogo rynka na drevesinu. Listvennye i khvoynye porody* [World market prices for timber. Non-coniferous], Access: <http://www.lesonline.ru> free (date accessed 28.03.2016)

УДК 582.28; 577.15; 674.03

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ АНАТОМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ МИКОЛОГИЧЕСКИ РАЗРУШЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Г.Н. КОНОНОВ, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽¹⁾,

А.Н. ВЕРЕВКИН, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. хим. наук⁽¹⁾,

Ю.В. СЕРДЮКОВА, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана⁽¹⁾

kononov@mgul.ac.ru, verevkin@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1,

Изучено анатомическое строение микологически разрушенной древесины под действием ферментов грибов белой и бурой гнили. Объектами исследования были выбраны образцы древесины березы и ели на последних стадиях разрушения древесины. Представлены микрофотографии анатомической структуры древесины, подвергшейся действию дереворазрушающих грибов. Показана картина разрушения древесной ткани древесины лиственных пород. Изменения происходят за счет процессов энзиматической делигнификации клеточных стенок волокон либриформа. При этом происходит практически полное разрушение истинных срединных пластинок. Это приводит к резкому увеличению внутренней поверхности в древесине, пораженной грибами белой гнили. Показаны изменения анатомической картины древесины хвойных пород, пораженной грибами бурой гнили. В этом случае наблюдается резкое уменьшение толщины клеточных стенок трахеид. Такая трансформация происходит за счет гидролитического действия микоферментов на полисахариды вторичной стенки вплоть до полного ее разрушения. Сложная срединная пластинка остается практически неизменной вследствие содержания большого количества лигнина. Подтверждены данные об изменении химического состава микологически разрушенной древесины и объяснен механизм действия микоферментов на анатомическом уровне. Выявленная картина разрушения анатомической структуры и химические изменения древесинного вещества позволяют предположить перспективные направления технологического использования микологически разрушенной древесины. Древесина, пораженная грибами белой гнили, может быть использована в качестве волокнистого полуфабриката, обогащенного целлюлозой или носителя сорбционных систем с сильно развитой внутренней поверхностью. Древесина, пораженная грибами бурой гнили, может найти применение в качестве активного наполнителя, содержащего как высокомолекулярные, так и низкомолекулярные фракции фенольных соединений.

Ключевые слова: микологически разрушенная древесина, лигноуглеводный комплекс.

Древесина различных древесных пород подвергается действию дереворазрушающих грибов, что приводит к образованию так называемых «гнилей», являющихся следствием действия ферментов, выделяемых этими организмами на лигноуглеводный комплекс древесинного вещества. Такая древесина, на различных стадиях разрушения, становится полностью непригодной для ее использования в качестве конструкционного, декоративного или поделочного материала [1]. Однако специфика изменения ее химического состава создает возможность ее переработки механохимическими и даже химическими методами [2, 3].

Следствием химических превращений лигноуглеводного комплекса окислительно-гидролитического характера под действием грибных ферментов является изменение анатомической структура древесины, изучению которой и посвящена данная работа.

Объектами исследования были выбраны образцы древесины березы и ели, по-

раженные грибами белой и бурой гнилей на последних стадиях разрушения древесины.

Изучение анатомической структуры исследуемых образцов осуществлялось с помощью электронного сканирующего микроскопа Phenon G2 pro, позволяющего получать изображение с увеличением от $80\times$ до $45.000\times$ и разрешением до 25 нм.

В результате проведенных исследований были получены микрофотографии, представленные на рис. 1–3.

В древесине, пораженной грибами белой гнили, визуально наблюдается расслаивание по годичным слоям, а на поздних стадиях – расщепление на волокна. На микрофотографиях (рис. 1, 2) отчетливо проявляются структуры клеточных стенок волокон либриформа, разрушенных под действием ферментов гриба.

При этом на рис. 1 показаны внутренние поверхности этих клеток с густой сетью крупных перфораций – следствием проникновения гифов гриба через простые поры

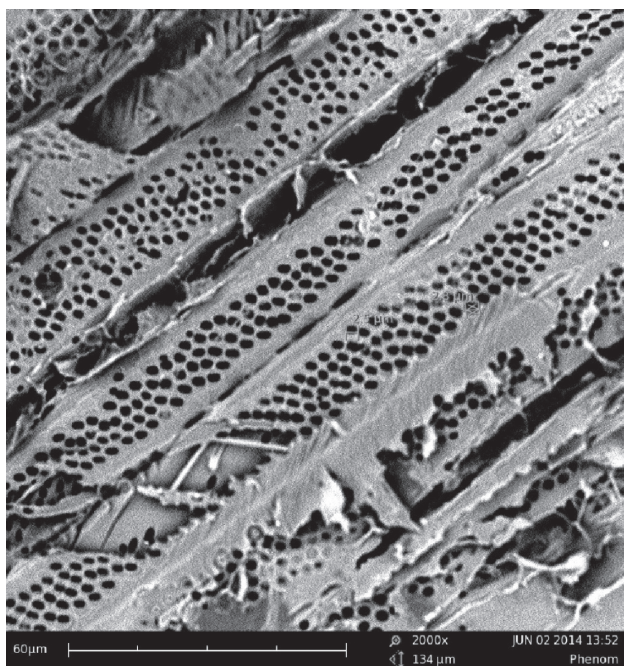


Рис. 1. Электронная микрофотография внутренней поверхности волокон либриформа древесины березы, пораженной грибами белой гнили (увеличение 2000[×])

Fig. 1. Electronic microphotograph of internal surface of a libriform fibers of a birch wood affected with of white rot fungi (increase 2000[×])

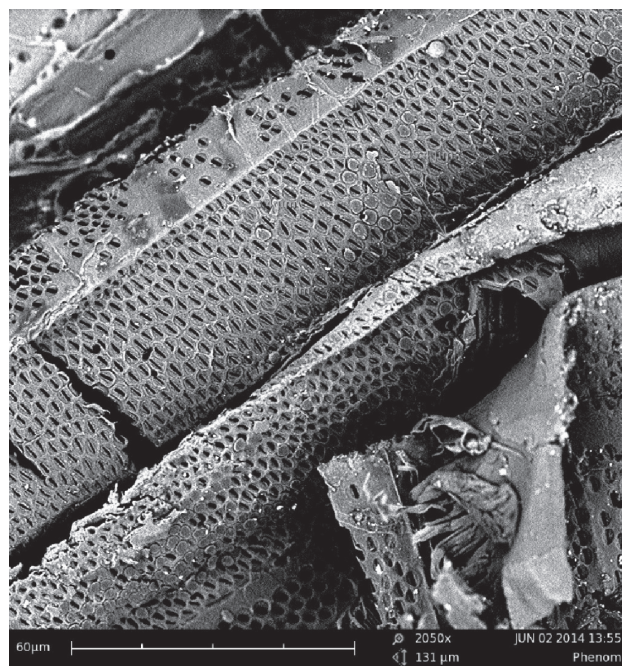


Рис. 2. Электронная микрофотография внешней поверхности волокон либриформа древесины березы, пораженной грибами белой гнили (увеличение 2050[×])

Fig. 2. Electronic microphotograph of external surface of a libriform fibers of a birch wood affected with of white rot fungi (increase 2050[×])

клеточной стенки со стороны полости клетки. На рис. 2 представлены внешние поверхности волокон либриформа с более узкими щелевидными перфорациями вследствие специфичности химического состава первичной стенки. При этом наблюдается практически полное отсутствие истинной срединной пластинки, состоящей из лигнина и соединяющей отдельные клетки в древесную ткань.

Представленная картина разрушения подтверждает данные о том, что ферменты грибов белой гнили (в основном лигнинпероксидаза) окисляют в первую очередь лигнин с последующими неферментативными процессами его превращения с фрагментацией в низкомолекулярные соединения (рис. 3). Холоцеллюлозная матрица при этом подвергается незначительному воздействию, что приводит к резкому относительному увеличению углеводной составляющей в древесине с белой гнилью [4, 5].

Картина разрушения древесины грибами бурой гнили совершенной иная: дре-

весина разрушается равномерно, растрескиваясь вдоль и поперек волокон, образуя призмы, легко растирающиеся в порошок. Вся поверхность древесины пронизана сетью трещин (рис. 4), на внутренних поверхностях которых хорошо видны сильно утонченные за счет разрушения вторичных стенок трахеиды, соединенные истинными срединными пластинками, состоящими из практически нативного лигнина.

Такое явление наблюдается за счет селективного действия ферментов грибов бурой гнили: трансфераз, разрушающих кристаллическую решетку целлюлозы; эндоглюконаз, фрагментирующих ее и целлобиогидразы и глюкогидразы, превращающих ее в низкомолекулярные сахара (рис. 5). Следствием этого являются значительные потери полисахаридной составляющей древесины и ее обогащение низкомолекулярными сахарами и фенольными соединениями за счет разрушения слоев вторичной стенки трахеид и мало деструктурированным био-

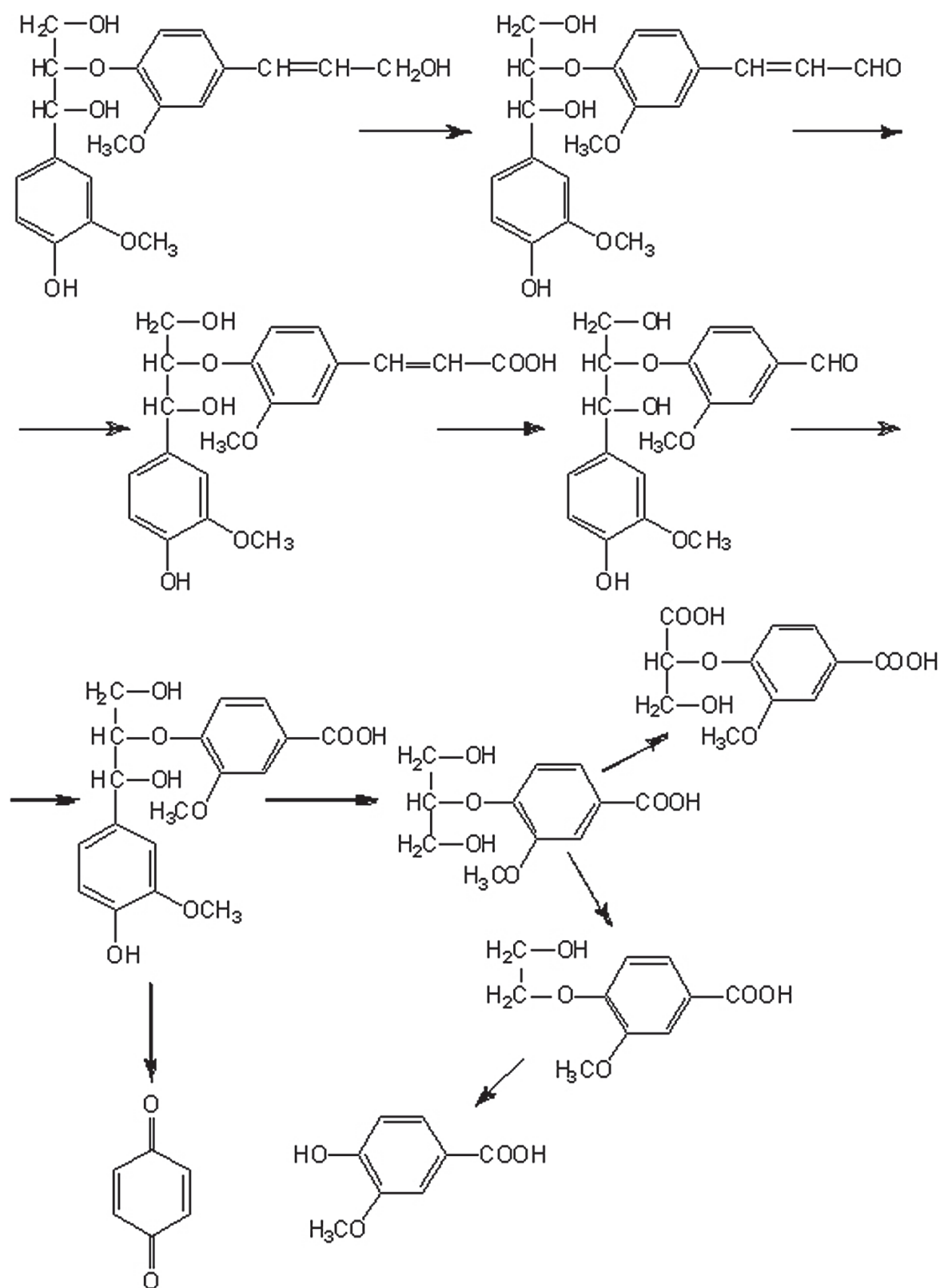


Рис. 3. Окислительная деструкция лигнина под действием ферментов грибов белой гнили
 Fig. 3. Oxidation destruction of a lignine under the influence of enzymes of white rot fungi



Рис. 4. Электронная микрофотография лигнифицированных трахеид древесины ели, пораженной грибами бурой гнили (увеличение 2000[×])

Fig. 4. Electronic microphotograph of lignified tracheids of fir-tree wood affected with the brown rot fungi (increase 2000[×])

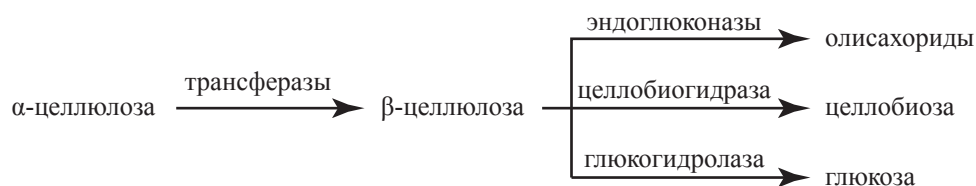


Рис. 5. Схема разрушения целлюлозы под действием ферментов грибов бурой гнили
Fig. 5. The scheme of cellulose destruction under the influence of enzymes of brown rot fungi

лигнином истиной срединной пластинки и первичной стенки [6, 7].

Физико-химические изменения анатомической структуры микологически разрушенной древесины позволяют сделать предположение о возможном использовании древесины, пораженной грибами белой гнили, в качестве волокнистого полуфабриката, обогащенного целлюлозой или носителя сорбционных систем с высокоразвитой поверхностью, а древесины, пораженной грибами бурой гнили, в качестве активного наполнителя, содержащего как высокомолекулярные, так и низкомолекулярные фракции фенольных соединений [8–10].

Библиографический список

1. Вакин, А.Т. Альбом пороков древесины / А.Т. Вакин, О.И. Полубояринов, В.А. Соловьев. – М.: Лесная промышленность, 1970. – 124 с.
2. Рипачек, В. Биология дереворазрушающих грибов / В. Рипачек. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 276 с.
3. Фенгел, Д. Древесина. Химия: ультраструктура, реакции / Д. Фенгел, Г. Вегенер. – М.: Мир, 1988. – 512 с.
4. Соловьев, В.А. Изменение химического состава древесины под действием лигнинразрушающих грибов / В.А. Соловьев, О.Н. Малышева, И.Л. Малева и др. // Химия древесины. – 1985. – № 6. – С. 94–100.
5. Ахмедова, З.Р. Лигнолитические, ксиланолитические и целлюлолитические ферменты некоторых базидиальных грибов и их взаимосвязь в разложении лигноцеллюлозы: дисс. ... д-ра биол. наук: 03.00.16 / З.Р. Ахмедова. – Ташкент, 1999. – 42 с.
6. Рабинович, М.Л. Прогресс в изучении целлюлолитических ферментов и механизм биodeградации высокоупорядоченных форм целлюлозы / М.Л. Рабинович, М.С. Мельник // Усп. биол. химии. – 2000. – Т. 40. – С. 205–266.
7. Билай, В.И. Трансформация целлюлозы грибами / В.И. Билай, Т.И. Билай, Е.Г. Мусия. – Киев: Наукова думка, 1982. – 295 с.
8. Кононов, Г.Н. Влияние режимов обработки на пористость структуры и сорбционные характеристики гидролизованного лигнина / Г.Н. Кононов, К.Л. Косарев,

- Ю.В. Сердюкова, А.Н. Веревкин // Технология и оборудование для переработки древесины : сб. науч. тр. / МГУЛ. – М., 2016. – Вып. 381. – С. 108–112.
9. Азаров, В.И. Модифицирование микологически разрушенной древесины нанодисперсиями элементарно-органических соединений / В.И. Азаров, Г.Н. Кононов, Н.Л. Горячев, А.А. Фаньковская // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2012. – № 7. – С. 97–101.
10. Monrroy, M. Structural change in wood by brown rot fungi and effect on enzymatic hydrolysis / M. Monrroy, I. Ortega, M. Ramnrez, J. Baeza, J. Freer // Enzyme and Microbial Technology. – 2011. – V. 49. – № 5. – pp. 472 – 477.

PHYSICAL AND CHEMICAL CHANGES OF THE ANATOMICAL STRUCTURE MYCOLOGIC DESTRUCTED WOOD

Kononov G.N., Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Verevkin A.N., Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph.D. (Tech.)⁽¹⁾; Serdyukova Yu.V., Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University⁽¹⁾

kononov@mgul.ac.ru, verevkin@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

The anatomic structure of the mycological destroyed wood under effect of white and brown rots fungi enzymes has been studied. A birch and fir-tree wood exemplars at the last stages of wood destruction were chosen as research objects. Microphotographs of anatomical wood structure under the wood-destroying fungi are presented. The picture of deciduous hardwood tissue destruction is shown. The destruction occurs with processes of enzymatic delignification of libriform fibers cell-like walls. At the same time there is practically the final fracture of the true middle lamellas. It leads to a sharp increase of internal surface in a wood, affected with of white rot fungi. Changes of an anatomic picture of the wood of coniferous breeds struck with fungi of brown rot are shown. In this case, sharp decrease of thickness of cell-like walls of tracheids is observed. Such transformation occurs due to hydrolytic action of mycological enzymes on polysaccharides of a secondary wall up to its final fracture. The composite middle lamella remains almost invariable due to the maintenance of a large number of a lignin. Data on chemical composition change of the mycologic destroyed wood are confirmed and the mycological enzymes action mechanism is explained at the anatomic level. The revealed picture of destruction of anatomical structure and chemical changes of woody substance allow assuming the perspective directions of technological use mycological destroyed wood. The wood struck with fungi of white rot can be used as the fibrous semi-finished product enriched with cellulose or the carrier the sorbent systems with strongly developed internal surface. The wood struck with fungi of brown rot can find application in active filler quality containing both high molecular weight and low molecular weight fractions of phenolic compounds.

Keywords: the mycological destroyed wood, the lignin carbohydrate complex.

References

1. Vakin A.T., Poluboyarinov T.I., Solovev V.A. *Al'bom porokov drevesiny* [Album of defects of wood], Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1970, 124 p.
2. Ripachek V. *Biologiya derevorazrushayushchikh gribov* [Biology the wood destroying fungi], Moscow: Lesnaya promyshlennost' [Forest industry], 1967, 276 p.
3. Fengel D., Vegener G. *Drevesina. Khimiya: ul'trastruktura, reaktsii* [Wood. Chemistry: metastructure, reactions], Moscow: Mir [World], 1988, 512 p.
4. Solov'ev V.A., Malysheva O.N., Maleva I.L., Saplin V.I. *Izmenenie khimicheskogo sostava drevesiny pod deystviem ligninrazrushayushchikh gribov* [Change of chemical composition of wood under the influence of the lignindestroying fungi], *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1985, № 6, pp. 94-100.
5. Akhmedova Z.R. *Lignoliticheskie, ksilanoliticheskie i tsellyuloliticheskie fermenty nekotorykh bazidial'nykh gribov i ikh vzaimosvyaz' v razlozhenii lignotsellyulozy*. Diss. dr. biol. nauk. [Lignolytic, xylanlytic and cellulolytic enzymes of some the basidium fungi and their interrelation in lignocellulose decomposition. Dr. Biol. Sci. Diss.], Tashkent, 1999, 42 p.
6. Rabinovich M.L., Mel'nik M.S. *Progress v izuchenii tsellyuloliticheskikh fermentov i mekhanizm biodegradatsii vysokoporyadochenykh form tsellyulozy* [Progress in studying the cellulolytic enzymes and the mechanism of biodegradation of the high-ordered cellulose forms], *Biology Bulletin Reviews*, 2000, V. 40, pp. 205-266.
7. Bilay V.I., Bilay T.I., Musiya E.G. *Trasformatsiya tsellyulozy gribami* [Trasformation of cellulose by fungi], Kiev: Naukova dumka [Scientific opinion], 1982, 295 p.
8. Kononov G.N., Kosarev K.L., Serdyukova Yu.V., Verevkin A.N. *Vliyanie rezhimov ob-rabotki na poristost' struktury i sobrtsionnye kharakteristiki gidroliznogo lignin* [Influence of the processing modes on structure porosity and sorption characteristics of the hydrolyzing lignine] *Tekhnologiya i oborudovanie dlya pererabotki drevesiny: sb. nauch. tr. V. 381. [Technology and equipment for wood processing: Collected papers]. Moscow: MSFU, 2016, pp. 108-112.*
9. Azarov V.I., Kononov G.N., Goryachev N.L., Fan'kovskaya A.A. *Modifitsirovanie miko-logicheski razrushennoy drevesiny nanodispersiyami elementorganicheskikh soedineniy* [Modifying mycologic destroyed wood by the elementorganic compounds nanodispersions], *Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik*, 2012, № 7, pp. 97–101.
10. Monrroy M., Ortega I., Ramnrez M., Baeza J., Freer J. Structural change in wood by brown rot fungi and effect on enzymatic hydrolysis. M. Monrroy, etc. *Enzyme and Microbial Technology*, 2011, V. 49, № 5, pp. 472-477.

УДК 676.064.1

ЛАКОВЫЕ КОМПОЗИЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ МЕТАЛЛИЗИРОВАННОЙ БУМАГИ

И.В. ЛЮБАВИНА, технолог АО «Галилео Нанотех»⁽¹⁾,
А.Н. ЗАРУБИНА, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽²⁾,
А.Н. ИВАНКИН, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р. хим. наук⁽²⁾,
Ю.В. СЕРДЮКОВА, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана⁽²⁾,
О.П. ПРОШИНА, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. хим. наук⁽²⁾

aivankin@inbox.ru, irinaluibavina@yandex.ru, zarubina@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ АО «Галилео Нанотех»

141370, Московская область, Сергиево - Посадский р-н, г. Хотьково, ул. Заводская д. 32

⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал),
141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Приводятся результаты исследований по определению влияния состава лака на свойства получаемых на поверхности металлизированных бумаг лаковых покрытий. Для двух разных марок лаков импортного производства были проведены определения качественного и количественного состава с использованием метода ЯМР-спектроскопии. Было установлено, что образцы лаков представляют собой сходные по составу растворы полиметилметакрилата и полибутилметакрилата в этилацетате с разным содержанием сухого остатка. В лаковые композиции включена эпоксидная смола, содержание которой составляет 8 и 10 % соответственно. Эпоксидная смола, вероятно, выполняет функцию пластификатора в получаемых полимерных покрытиях. Для подтверждения данного предположения были проведены определения соответствующих показателей получаемых лаковых пленок. С помощью термомеханического метода установлено значение температуры стеклования, которое несколько возросло с течением времени, что может объясняться протекающими в полимерах процессами снижения внутренних напряжений, возникающих при сушке лаковых пленок. Определена величина поверхностного натяжения, имеющая большое значение при последующей печати рисунка на металлизированной бумаге, используемой для изготовления этикеток. Для лаков выбранных марок она находится в требуемых пределах и составляет 40–42 мН/м. Добавление в качестве пластифицирующей добавки эпоксидной смолы значительно снижает шероховатость поверхности, что доказывают проведенные определения кинетического коэффициента трения, значения которого снижаются почти в два раза при увеличении содержания пластификатора в лаковой композиции всего на 2 %. Это подтверждается высоким значением глянца поверхности образующихся полимерных пленок, измеренного с помощью блескомера. Но использование пластификатора в лаковой композиции повышает ее вязкость, что потребует дополнительного расхода растворителя. Полученная зависимость вязкости лака от степени его разбавления растворителем позволит определять количество добавляемого этилацетата для обеспечения необходимого нанесения лака на бумагу и установления требуемых параметров режима работы узла лакирования. Показана зависимость свойств лакированных поверхностей от состава лаковой композиции и даны рекомендации по применению лаков исследованных марок.

Ключевые слова: лаковая композиция, пластификатор, металлизированная бумага, поверхность полимерных пленок.

Металлизированные бумаги являются пленочными композиционными материалами, на поверхность которых нанесен слой алюминия, придающий бумажной основе декоративные и защитные свойства [1, 2]. Модифицированная металлическим напылением бумага является альтернативой использованию чистой алюминиевой фольги в упаковочной индустрии, например в технологиях упаковки чая, масложировой продукции, сигарет, сухих продуктов питания, пряностей, шампуней, гигиенических салфеток, порошкообразных лекарств и др. Также она находит применение при изготовлении высококачественных

этикеток для необоротной тары спиртосодержащих напитков, минеральной воды, сладких газированных напитков, кваса и другой продукции, требующей долгосрочной упаковки [2, 3].

Наиболее широко представленные на российском рынке «вакуумные» металлизированные бумаги получают в результате технологического процесса прямой металлизации при осаждении паров алюминия на поверхность предварительно лакированной бумаги. При этом образуется слой алюминия в количестве, не превышающем 0,1 г/м². Затем металлизированную поверхность пов-

торно лакируют для защиты металлического слоя от истирания и придания ему гладкости, необходимой для последующего нанесения рисунка [4].

Для улучшения технологических характеристик лаковых композиций, используемых в производстве металлизированной бумаги, в их состав вводят различные модифицирующие добавки. Представляло интерес исследовать влияние состава лака на свойства получаемой пленки.

Цель работы заключалась в определении оптимальных характеристик лаковых материалов на основе эпоксицированных сополимеров при их использовании в технологиях производства металлизированных бумаг.

Материалы и методы

В работе использовали лаки двух марок импортного производства: Acriluc laquer with epoxy resins (England 2013) производства Glasplies Ltd (Великобритания) – лак № 1 и Acriluc laquer with epoxy resins (Belgium 2014) производства Ark Golden India Pvt. Ltd (Индия) – лак № 2.

Качественный и количественный состав лаков определяли методом ЯМР-спектроскопии. Спектроскопия ядерного магнитного резонанса (ЯМР) осуществлялась на приборе VNMR-400 фирмы «Вариан» (США) с рабочей частотой 400 МГц на ядрах ^1H и 100 МГц на ядрах ^{13}C . Метод основан на обусловленном переориентацией магнитных моментов ядер резонансом поглощения и излучении электромагнитной энергии веществом, содержащим ядра с ненулевым спином во внешнем магнитном поле на частоте, называемой частотой ЯМР [4, 5].

Определение температуры стеклования проводили термомеханически на приборе TMA Q400 EM «TA Instruments».

Поверхностную энергию композиций лаковых пленок определяли по ГОСТ Р 54105–2010 – «Пленки и листы полимерные. Метод определения натяжения при смачивании».

Вязкость лаковых систем определяли вискозиметрически на вискозиметре марки ВЗ-4, а затем переводили численное значение в условную вязкость ($\text{мм}^2/\text{с}$).

Кинетический коэффициент трения определяли на приборе для определения коэффициента трения, который включал в себя двигатель с основанием, компенсационные пружины, миниатюрную электронную нагрузочную ячейку и контролирующий усилитель. При соединении с самописцем регистрировали значение коэффициента трения скольжения [12].

Для определения глянца образующихся полимерных пленок использовали стандартный метод измерения по ISO 2813-1978 с помощью блескомера «Микро-гloss» производства БИК-Гарднер (Россия).

Результаты и их обсуждение

Проведенные исследования показали, что образцы лаков представляют собой сходные по составу растворы эпоксицированного сополимера с массовой долей эпоксидных групп 19–21 %, полиметилметакрилата и полибутилметакрилата в этилацетате (рис. 1), но с разным содержанием сухого остатка.

Состав лаков, определенный в результате исследований по данным рис. 1, приведен в таблице.

Полиэпоксид вводится в состав лака в качестве пластифицирующей добавки и влияет на температуру стеклования, которая является одной из важнейших характеристик полимеров, определяющих температурный интервал их эксплуатации [6, 7].

Проанализировав полученные зависимости относительной деформации полимеров от температуры (рис. 2, 3), установили, что температура стеклования выбранных для исследования лаков имеет одно и то же значение и составляет около 43 °С. Поскольку в полимере некоторое время остаются внут-

Т а б л и ц а

Состав лаковых композиций (% масс.)
The composition of the lacquer compositions
(in % by weight)

Компонент композиции	Лак № 1	Лак № 2
Этилацетат	56	59
Полиметилметакрилат	25	23
Полибутилметакрилат	11	8
Полиэпоксид	8	10

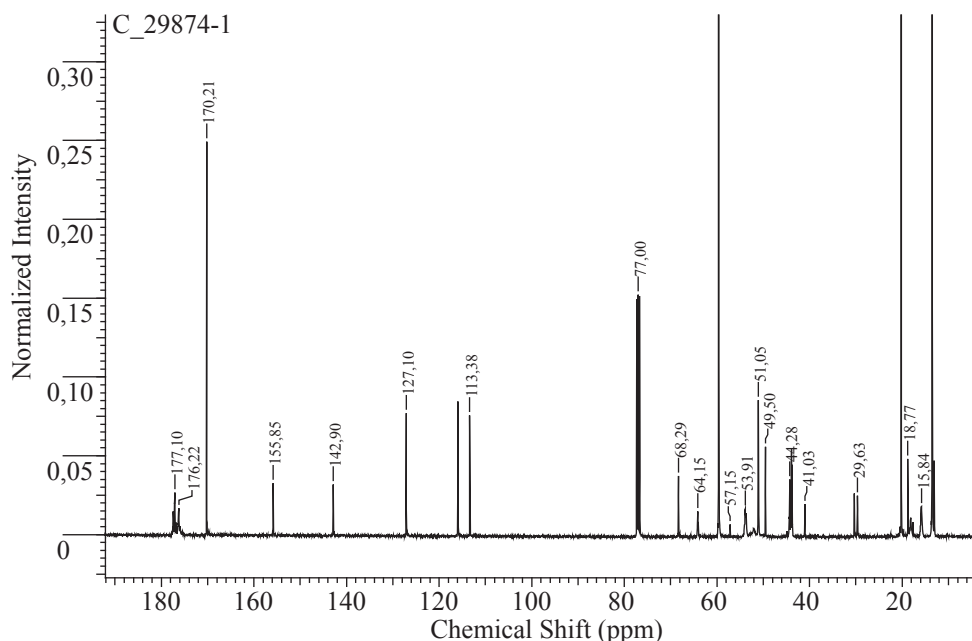


Рис. 1. Результаты определения состава лаков методом ЯМР-спектроскопии
 Fig. 1. The results of determining the varnishes composition by NMR spectroscopy

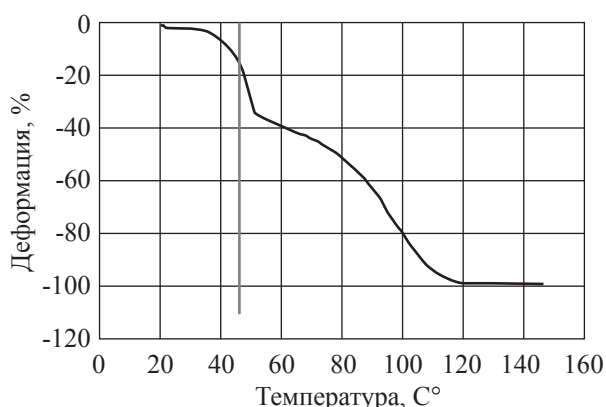


Рис. 2. Термомеханическая кривая для лака № 1
 Fig. 2. Thermomechanical curve for varnish № 1

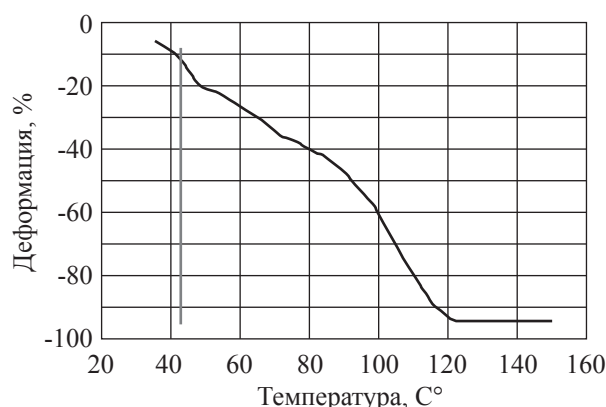


Рис. 3. Термомеханическая кривая для лака № 2
 Fig. 3. Thermomechanical curve for sample № 2

ренние напряжения, влияющие на значение определяемого показателя [8–10], те же самые измерения проводили через неделю после сушки образцов лака. Было установлено, что температура стеклования лаковых композиций возрастала на 1 °С.

Это соответствует представлениям о том, что с течением времени в полимерах снижаются внутренние напряжения, что оказывает влияние на такие их свойства, как прочность и эластичность, достигающих максимума через определенный промежуток времени, а упругость и хрупкость при этом уменьшаются [9].

Так как применение металлизированной бумаги для изготовления этикеток пре-

дусматривает нанесение на ее поверхность печатных красок, величина поверхностного натяжения является важной характеристикой поверхности [11]. Для исследуемых композиций было определена поверхностная энергия образующихся лаковых пленок, которая представляет собой избыток энергии на границе раздела двух фаз, связанный с существованием поверхностного слоя.

Метод определения натяжения при смачивании по ГОСТ Р 54105 показал, что пленки, образованные исследуемыми лаками, обладают практически одинаковой, достаточной энергетической активностью в 40–42 мН/м, что позволяет обеспечить пос-

ледующую качественную обработку поверхности лаковой пленки при нанесении типографских красок.

Для оценки гладкости поверхности, также имеющей большое значение для последующей обработки получаемых материалов, определяли кинетический коэффициент трения [12–14]. Для лака № 1 его значение составило 0,421, а для лака № 2 – 0,239. Добавление пластифицирующей добавки в лак снижало шероховатость поверхности на 10–25 %.

При определении глянца полимерных пленок по ISO 2813-1978 было установлено, что количество отраженного света при угле падения 60° для обоих видов лака составило 380 %, что является достаточно высоким значением.

Одной из основных технологических характеристик лака, от которой зависит качество нанесения на поверхность бумаги, является вязкость [6]. Введение в композицию лака № 2 большего количества эпоксидного компонента приводило к значительному повышению его вязкости (440,08 мм²/с – вязкость лака № 2 и 256,31 мм²/с – вязкость лака № 1), несмотря на более высокое содержание растворителя (59 % в лаке № 2 и 56 % в лаке № 1).

Для обеспечения требуемого нанесения лака на бумагу и установления параметров режима работы узла лакирования на производстве необходимо определить зависимость вязкости лака от степени его разбавления растворителем. Из данных рис. 4 видно, что вязкость будет резко падать после добавления растворителя до 50 %-го содержания. Кроме того очевидно, что для приготовления лака № 2 нужной вязкости необходим больший расход растворителя этилацетата.

Таким образом, на основании проведенных исследований по определению составов лаковых композиций и их основных характеристик установлено, что увеличение количества эпоксидного сополимера в составе лака на 2 % повышает вязкость композиции более чем в два раза и при этом существенно увеличивается гладкость образующихся поверхностей.

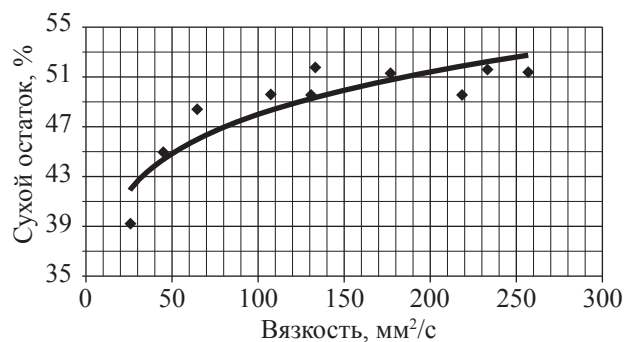


Рис. 4. Изменение вязкости лака № 1 при разбавлении растворителем

Fig. 4. The viscosity of the varnish No. 1 when diluted with solvent

Такие показатели, как поверхностное натяжение, глянец, температура стеклования практически не изменяются. Кроме того, из-за изменений, протекающих в полимерных системах во времени, определение основных характеристик следует проводить через определенные, технологически установленные временные промежутки, что является задачей дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Фляте, Д. Свойства бумаги / Д. Фляте. – М.: АНО «Литературное Агентство «Профессионал», 2010. – С. 12.
2. Иванов, С.Н. Технология бумаги. Изд. 3-е / С.Н. Иванов – М.: Школа бумаги, 2006 – 696 с.
3. Godec, M. Investigation of performance degradation in metallized film capacitors / M. Godec, D. Mandrino, M. Gaberscek // Applied surface science. – 2013. – V. 273. – № 5. – P. 465–471.
4. Колодкин, С.В. Патент RU 2481953. Способ изготовления металлизированной этикеточной бумаги / С.В. Колодкин, А.А. Петров – кл. В31D1/02. Опубл. 20.05.2013.
5. Лебедев, А.Т. Масс-спектрометрия в органической химии / А.Т. Лебедев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003. – 493 с.
6. Сильверстейн, Р. Спектрометрическая идентификация органических соединений / Р. Сильверстейн, Ф. Вебстер, Д. Кимл. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. – 520 с.
7. Malujda I., Dominik W. Mechanical properties investigation of natural polymers / I. Malujda, W. Dominik // Procedia Engineering. – 2016. – V. 136. – № 2. – P. 263 – 268.
8. Кочнев, А.М. Физико-химия полимеров / А.М. Кочнев, А.Е. Заикин, С.С. Галибеков, В.П. Архиреев. – Казань: Изд-во «Фэн», 2003. – 512 с.
9. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров / В.И. Азаров, А.В. Буров / Оболенская. Учебник для вузов. – СПб.: СПбЛТА, 1999. – 628 с.
10. Азаров, В.И. Химия древесины и синтетических полимеров: учебник / В.И. Азаров, Г.Н. Кононов. – М.: МГУИ, 2011. – 368 с.

11. Платэ, Н.А. Энциклопедия полимеров. Т. 1 / Н.А. Платэ, В.П. Шибасв. – М.: БСЭ, 1972. – С. 35.
12. Сумил, Б.Д. Физико-химические основы смачивания / Б.Д. Сумил, Ю.В. Горюнов. – М.: Химия, 1976. – 232 с.
13. Азаров, В.И. Механические свойства лаковых композиций / В.И. Азаров, В.А. Винославский, А.Н. Зарубина, И.В. Любавина / Технология и оборудование для переработки древесины // Науч. тр. МГУЛ, вып. 377. – М.: МГУЛ, 2015. – С.139–143.
14. Любавина, И.В. Лаковые композиции для металлизированных бумаг / И.В. Любавина, А.Н. Зарубина, А.Н. Иванкин, Ю.М. Евдокимов // Технология и оборудование для переработки древесины. – Науч. тр. – Вып. 381. – М.: МГУЛ, 2016. – С. 126–131.

LACQUER COMPOSITIONS IN THE MANUFACTURE OF METALLIZED PAPER

Lyubavina I.V., Technologist, «Galileo nanotech»⁽¹⁾; **Zarubina A.N.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Tech.)⁽²⁾; **Ivankin A.N.**, Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Chem.)⁽²⁾; **Serdyukova Y.V.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University⁽²⁾; **Proshina O.P.**, Assoc. Prof., Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Tech.)⁽²⁾

aivankin@inbox.ru, irinaluibavina@yandex.ru, zarubina@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Galileo Nanotech, 141370, Moscow region, Sergievo-Posadsky district, Khotkovo town, Zavodskaya St, 32

⁽²⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia,

The results of studies to determine the influence of the varnish composition on the properties of the surface of the metallized papers lacquer coatings. For two different brands of varnishes import production has been determined for both quality and quantitative composition using the method of NMR spectroscopy. It was found that the samples of paints are similar in composition to the solution of poly methyl methacrylate and poly butyl methacrylate in ethyl acetate with different content of solids. The varnish composition included epoxy resin, the content of which represented 8 percent and 10 percent, respectively. Epoxy, probably, performs the function of plasticizer in the resulting coatings. To confirm this, the relevant indicators of the resulting lacquer coatings were determined. With the help of the thermo mechanical method of glass temperature settings, which increased slightly over time, which can be explained by the prot-penitent in polymers processes reduce the internal stresses that arise during drying of the lacquer films. The value of surface tension was determined, with the pain of great value in the subsequent printing on metallic paper used for the manufacture of labels. In the varnishes of the selected brands it is within the norm of 40-42 mN/m. Adding as plasticizer adjuncts epoxy significantly reduces the surface roughness that is proved by the definition of the kinetic friction coefficient whose values fall by nearly two times with increasing content of plasticizers in lacquer composition by only 2 %. This is confirmed by the high gloss value of the surface polymer films (measured by blastomere). But the use of plasticizer in the lacquer composition increases its viscosity, which will require additional solvent. The obtained dependence of the viscosity of the varnish from the degree of dilution with solvent will determine the amount of added ethyl acetate to provide the desired application of paint on the paper and establishing the required parameters of the operating mode of the unit coating. It also shows the properties of lacquered surfaces the composition of lacquer composition and recommendations on the application of the varnishes studied brands.

Keywords: lacquer composition, a plasticizer, metallized paper, the surface of polymer films.

References

1. Flyate D. *Svoystva bumagi* [Paper properties], Moscow: Literary agency «Professional», 2010, p. 12.
2. Ivanov S.N. *Tehnologia bumagi* [Technology paper], Moscow: School paper, 2006, 696 p.
3. Godec M., Mandrino Dj., Gaberšček M. Investigation of performance degradation in metallized film capacitors. *Applied Surface Science*, 2013, vol. 273, no. 5, pp. 465-471.
4. Kolodkin S.V., Petrov A.A. *Sposob izgotovleniya metallizirovannoi etiketchnoy bumagi* [A method of manufacturing metallised labeled paper], Patent RU 2481953. CL. B31D1/02, 20.05.2013.
5. Lebedev A.T. *Mass-spektrometria v organicheskoi himii* [Mass spectrometry in organic chemistry], Moscow: BINOM, 2003, p. 493.
6. Silverstein R., Vebeter F., Kiml D. *Spektrometricheskaya identifikatsia organochemicheskikh soedinenii* [Spectrometer identification of organic compounds], Moscow: BINOM, 2011, p. 520.
7. Nielsen P. Mechanical properties of polymers and polymer compositions: Moscow. *Chimia*, 1978, 312 p.
8. Kochnev A.M., Zaikin A.E., Galibeev S.S., Arkhireev V.P. *Fizikokhimiya polimerov* [Polymer physics and chemistry], Kazan: «Fan» Publ., 2003, p. 512.
9. Azarov V.I., Burov AV., Obolenskaya A.V. *Himia drevesini i sinteticheskikh polimerov* [Wood and synthetic polymers chemistry], St.-Peterburg: St. Petersburg Forestry Academy, 1999, p. 628.
10. Azarov V.I., Kononov G.N. *Himia drevesini i sinteticheskikh polimerov* [Chemistry of wood and synthetic polymers], Moscow: MSFU, 2011, 368 p.
11. Plate N.A., Shibaev V.P. *Ensiklopedia polimerov* [Comb-shaped polymers and liquid crystals], Moscow: Encyclopedia, 1987, p. 50.
12. Sunil B.D., Goryunov Yu.V. *Fizikhimicheskie osnovi smachivania* [Physical-chemical fundamentals of wetting], Moscow: Chemistry, 1976, 232 p.
13. Azarov V.I., Vinoslavskiy V.A., Zarubina A.N., Lyubavina I.V. *Mehanicheskie svoystva lakovih kompozitsii* [Mechanical properties of lacquer compositions], Technology and equipment of wood recycling. Moscow: MSFU, 2015, V. 377, pp. 139-143.
14. Lyubavina I.V., Zarubina A.N., Ivankin A.N., Evdokimov Yu.M. *Lakovie kompozitsii dlia metallizirovannih bumag* [Varnish composition for metallized papers]. Technology and equipment of wood recycling. Moscow: MSFU, 2016, V. 381, pp. 126-131.

УДК 668.473

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОДУКТОВ СУЛЬФАТЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОИЗВОДСТВА В КАЧЕСТВЕ ПРИСАДОК К ТОПЛИВАМ РЕАКТИВНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

К.В. ШАТАЛОВ, *доц., начальник отдела квалификационной оценки топлив и масел ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», канд. техн. наук*, ⁽¹⁾,

А.К. ГОРЮНОВА, *асп., РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина*⁽²⁾,

Н.М. ЛИХТЕРОВА, *проф., вед. научн. сотр. ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», д-р техн. наук*⁽¹⁾,

А.Н. ИВАНКИН, *проф., зав. каф. химии и биотехнологии МГУЛ, д-р. хим. наук*⁽³⁾,

М.И. БАБУРИНА, *вед. научн. сотр. ВНИИМП им. В.М.Горбатова, канд. биол. наук*⁽⁴⁾,

А.В. КУЛИКОВСКИЙ, *вед. научн. сотр. ВНИИМП им. В.М.Горбатова, канд. техн. наук*⁽⁴⁾

aivankin@mgul.ac.ru, sanechka-08122@mail.ru

⁽¹⁾ ФАУ «25 ГосНИИ химмотологии Минобороны России», 121467, г. Москва, ул. Молодогвардейская, 10,
⁽²⁾ ФГБОУ ВО «Российский государственный университет нефти и газа (национальный исследовательский университет) имени И.М. Губкина», 119991, Москва, просп. Ленинский, д. 65, кор. 1,

⁽³⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1,

⁽⁴⁾ ФГБНУ «ВНИИ мясной промышленности им. В.М. Горбатова», 109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26

Рассмотрена проблема обеспечения эксплуатируемых технических устройств отечественными противоизносными присадками, повышающими качество моторных топлив, в частности авиационных топлив. Отмечена актуальность проблемы замены гидрогенизированных керосиновых фракций и моно- и бициклических нафтеновых кислот, традиционно применяемых в качестве антикоррозионных присадок, а также зарубежных противоизносных присадок на растительные композиции на основе природных жирных кислот. Изучен состав основных жирных кислот таллового масла, в качестве которого использовали продукты «кислоты жирные таловые» по ГОСТ 14845-79 и «дистиллированное талловое масло» по ТУ13-00281074-26-95, полученные на АО «Сеgezском целлюлозно-бумажном комбинате». Определение жирных кислот проводили методом газовой хроматографии с пламенно-ионизационным детектором. Состав летучих компонентов анализировали методом хромато-масс-спектрологии. Изучали влияние жирных кислот таллового масла и зарубежных присадок на противоизносные свойства гидроочищенной керосиновой фракции. Исследования показали, что в жирных кислотах выбранных образцов талловых масел содержание ненасыщенных жирных кислот составляло 82 %, в том числе кислот состава C18 (84,8 %), а основными компонентами были: линолевая (48,4 %), олеиновая (20,3 %) и линоленовая (10,3 %) кислоты. Показано, что свежие талловые масла содержали меньшее количество ненасыщенных жирных кислот – 77,5 %. При этом количество кислот состава C18 было ниже – 67,5 %, в т. ч. линолевая 33,5 %, олеиновая 20,8 %, линоленовая 10,9 %. Содержание жирных кислот C19 – C24 было выше, 19,7 %, против 5,58 % в жирных кислотах таллового масла. В процессе длительного хранения талловых масел, вследствие процессов окисления, содержание ненасыщенных жирных кислот с несколькими двойными связями снижалось. Доля насыщенных кислот и ненасыщенных кислот с одной двойной связью увеличивалась. Были выявлены основные химические компоненты таллового масла, влияющие на коррозионную стойкость. Показано, что высокое содержание высших жирных кислот в побочном продукте целлюлозно-бумажного производства позволяет рассматривать его в качестве перспективной противоизносной присадки для моторных топлив реактивных двигателей.

Ключевые слова: вещества таллового масла, жирнокислотный состав, противоизносные присадки, топливо для реактивных двигателей.

Обеспечение потребностей российской экономики в качественных авиационных топливах является одной из приоритетных задач отечественной нефтеперерабатывающей отрасли. В настоящее время для достижения заданного уровня эксплуатационных свойств авиационных топлив производители вынуждены применять гидрогенизационные процессы для очистки керосиновых фракций от

гетероорганических соединений. Более 55 % топлива для реактивных двигателей вырабатывается на основе процессов гидроочистки и гидрокрекинга, и в дальнейшем это количество будет только увеличиваться [1].

Удаление из керосиновых фракций сероорганических и кислородсодержащих соединений позволяет улучшить термоокислительную стабильность и коррозионные

свойства топлива, но ухудшает их противоизносные свойства. Это отрицательно сказывается на ресурсе работы плунжерных насосов топливных агрегатов авиационных газотурбинных двигателей [2].

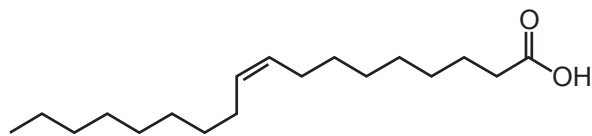
Наиболее эффективным способом улучшения противоизносных свойств керосиновых фракций является использование противоизносных присадок. В течение длительного времени в СССР, а затем в России в качестве противоизносной присадки к авиакеросинам применялась смесь очищенных моно- и бициклических нафтеновых кислот с молекулярной массой 180–230, получаемой высоковакуумной дистилляцией обезмасленного асидола, который представляет собой продукт выщелачивания нафтеновых кислот из фракций бакинских нефтей. Полученные таким образом присадки содержат до 5 % ароматических и до 20 % жирных кислот. Смесь нафтеновых кислот под маркой ДНК (она же К) вырабатывалась в г. Баку (Азербайджан) по ГОСТ 13302-77 «Кислоты нефтяные. Технические условия» [3, 4].

По техническим причинам отечественные нефтеперерабатывающие предприятия с середины 2000-х годов отказались от использования присадки ДНК и стали использовать в качестве противоизносной присадку НІТЕС 580, выпускаемую фирмой Afton Chemical (США) [1]. В условиях экономических санкций со стороны США и стран Европейского Союза зависимость производства топлив для реактивных двигателей от поставок из-за рубежа недопустима и диктует необходимость создания отечественной противоизносной присадки к авиационным топливам.

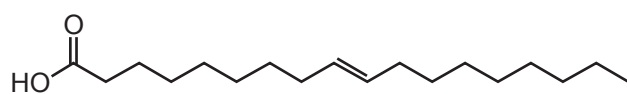
Исследования показывают, что противоизносная присадка к топливам для реактивных двигателей может быть изготовлена на основе природных жирных кислот. При этом эффективность жирных кислот как противоизносной присадки возрастает с повышением их молекулярной массы, а наибольший эффект дают жирные кислоты с числом атомов углерода более 18 [3,4]. В качестве основных кислот здесь выступают:

Олеиновая кислота (цис-9-октадеценовая кислота) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_7\text{CH}=\text{CH}(\text{CH}_2)\text{COOH}$ –

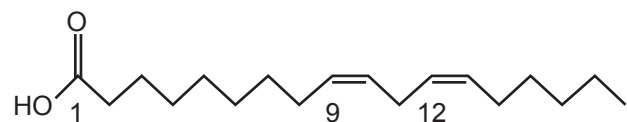
мононенасыщенная жирная кислота. Молярная масса 282,46 г/моль; плотность 873,5 кг/м³; температура плавления 16,3 °С; температура кипения 228 °С при 2 кПа [5].



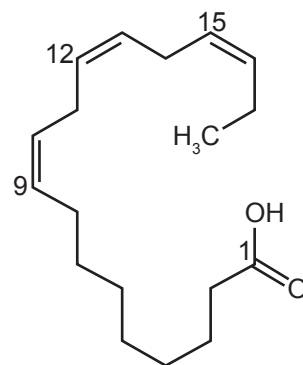
Олеиновая кислота имеет *транс*-изомер – *элаидиновую кислоту*, которая отличается более высокой температурой плавления 44 °С. Олеиновая и элаидиновая кислоты сочетают химические свойства олефинов и карбоновых кислот [5].



Линолевая кислота (цис,цис-9,12-октадекадиеновая кислота) $\text{CH}_3(\text{CH}_2)_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_2(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ – полиненасыщенная жирная кислота с двумя изолированными двойными связями. Молярная масса 280,5 г/моль; плотность 902,2 кг/м³; температура плавления минус 5 °С; температура кипения 149 °С при 133 Па [5].



Линоленовая кислота (цис,цис,цис-9,12,15-октадекатриеновая кислота) $\text{CH}_3(\text{CH}_2\text{CH}=\text{CH})_3(\text{CH}_2)_7\text{COOH}$ – полиненасыщенная жирная кислота с тремя изолированными двойными связями. Молярная масса 278,4 г/моль; плотность 916,4 кг/м³; температура плавления минус 11,3 °С; температура кипения 184 °С при 0,5 кПа [5].



Указанные физико-химические параметры жирных кислот позволяют прогнозировать возможные свойства топливных присадок на их основе.

В промышленных объемах смеси указанных кислот получают как побочные продукты сульфатцеллюлозного производства в виде сырых талловых масел и продуктов их переработки – жирных кислот таллового масла. Основными производителями являются: Селенгинский целлюлозно-картонный комбинат, Сегежский, Соломбальский и Усть-Илимский целлюлозно-бумажные комбинаты.

Состав таллового масла зависит от вида перерабатываемой древесины, ее породы, продолжительности и способа хранения, технологии получения, а также других факторов. Талловые масла обычно содержат 92–94 % жирных кислот, в основном C_{18} , 2–3 % смоляных кислот и 2–5 % неомыляемых веществ [6, 7].

Из сырого таллового масла древесины лиственных пород обычной вакуумной дистилляцией с присадкой водяного пара выделяют до 70 % жирных кислот в виде продукта высокой степени чистоты. Доля жирных кислот в них составляет 96–97 %, неомыляемых веществ 1–2 % [6].

Цель работы заключалась в изучении состава продуктов сульфатцеллюлозного производства – дистиллированных талловых масел и жирных кислот талловых масел и установлении возможности их применения в качестве противоизносных присадок к топливам для реактивных двигателей.

Материалы и методы

Объекты исследования:

- жирные кислоты талловых масел, выработанные на Сегежском целлюлозно-бумажном комбинате по ГОСТ 14845-79;
- дистиллированное талловое масло, выработанное на Сегежском целлюлозно-бумажном комбинате по ТУ 13-00281074-26-95;
- дистиллированное талловое масло по ТУ 13-00281074-26-95 со сроком хранения 7 лет.

Состав исследуемых образцов анализировали по условиям ГОСТ Р 55483-2013

«Определение жирно-кислотного состава методом газовой хроматографии» на газовом хроматографе HP 6890 с капиллярной колонкой HP-Innowax 30 м × 0,32 мм × 0,5 мкм и пламенно-ионизационным детектором. Для этого, образец в количестве 2 г подвергали в течение 4 ч выдержке при 25 °С в смеси 10 мл хлороформа с 10 мл метанола по модифицированному методу Фолча в присутствии 1 % раствора KCl для растворения липидных компонентов, экстракт фильтровали через бумагу и после удаления избытка растворителей упариванием досуха подвергали кислотному гидролизу с целью получения смеси метиловых эфиров кислот, которые анализировали методом газовой хроматографии. Обработывали 0,01 г липидов в 3 мл 15 % раствора ацетилхлорида в метаноле при 100 °С, 2 ч с последующей нейтрализацией смеси 1,25 мл насыщенного КОН в CH_3OH до pH 5,0–6,0. К смеси добавляли 3 мл насыщенного водного раствора NaCl и 3 мл гексана, выстаивали несколько минут и отбирали на анализ 0,2 мкл из прозрачного гексанового слоя, содержащего метиловые эфиры жирных кислот. Условия хроматографирования на капиллярной колонке HP-Innowax 30 м × 0,32 мм × 0,5 мкм: повышение температуры колонки в термостате со 100 °С до 260 °С со скоростью 10 °С/мин; температура инжектора 250 °С, детектора 300 °С; поток водорода из генератора – 35 см³/мин; поток азота – 20 см³/мин; деление потока 1:100; время анализа 30 мин; ввод 1 мкл пробы [8–12].

Состав летучих органических компонентов определяли на газовом хроматографе AT7890 с 5975 VL Triple-Axis MSD масс-детектором. Анализировали пики веществ с содержанием более 0,01 мг/кг и вероятностью идентификации более 65 % по автоматической базе данных NIST 05. В качестве стандарта сравнения использовали смесь 37 метиловых эфиров C_6 – C_{24} жирных кислот в метаноле № 47885U Supelco (Швейцария), массовой концентрации в метаноле 10 мг/см³ [10, 12].

Влияние жирных кислот сульфатцеллюлозного производства на противоизносные свойства гидроочищенной керосиновой фрак-

ции исследовали на аппарате VOCLE 100 по ГОСТ Р 53715 «Топлива авиационные для газотурбинных двигателей. Метод определения смазывающей способности на аппарате шар-цилиндр (VOCLE)». Для исследования использовали образцы жирных кислот таллового масла различных производителей и дистиллированные талловые масла, которые вводились в керосиновую фракцию в концентрации от 0,001 до 0,02 % масс. Для сравнения одновременно проводили испытания той же гидроочищенной керосиновой фракции с введением аналогичного количества, используемой в настоящее время, противозносной присадки Хайтек-580.

Результаты и обсуждение

Результаты изучения составов исследованных образцов представлены в табл. 1 и 2.

Газохроматографический анализ дистиллированного таллового масла показал, что в нем содержатся следующие основные компоненты (наименования по международной номенклатуре IUPAC, мг/кг): dodecanal 0.33; N-(1-циано-3-метил-бут-2-енил)-ацетамид 0.02; 5-(метиленциклопропил)-1-пентанол 0.01; 10-тетрадецен-1-ол ацетат 0.04; 2-гептадеценал 0.05; 4-гептеновая кислота, метил эфир 0.06; 14-метил-8-гексадеценал 0.08; 4-бромобутановая кислота, гексадецил эфир 0.05; 12-оксо-тридекановая кислота 0.17; 1-этинил-циклододэканол 0.07; 3-додэцен-1-ол 0.08; 2-(хлорметил)-1-бутен 0.08; тридеканал 0.42; диэтилборная кислота, (2-метоксиэтил) эфир 0.16; 2-метил-циклогексанол 0.24; гептадецилоксиран 0.69; тетрадекан 0.47; тридеканал 0.78; тридецилоксиран 0.32; 9-децен-1-ил ацетат 0.12; 3-додэцен 0.19; 1,9-тетрадекадиен 0.28; тетрадеканал 0.27; 1-децен 0.40; циклододэцен 0.28; 1-тетрадеканол 0.41; 2-тридеканон 0.51; *trans*-2-додэцен-1-ол 1.50; 2-тридеканон 0.56; *cis*-11-тетрадецен-1-ол 1.24; *trans*-2-додэцен-1-ол 7-бутил-бисцикло-[4.1.0]гептан 0.39; гексадецилоксиран 1.14; 5-октен-1-ол 1.06; 9-октадецен-1-ол 0.73; 1,13-тетрадекадиен 0.70; 1,6-тридекадиен 0.66; 1-нонадецен 1.05; 1,12-тридекадиен 0.65; n-тетраэтанол 11.00; гексадецилоксиран 1.23; гексадеканал 3.18; 1-пентадецен 0.94; октадеканал 1.49;

олеил спирт 0.50; 9-тетрадеценал 0.54; 2-октадекадецен-1-ол 1.26; 1-октадецен 0.82; 2,13-октадекадиен-1-ол 0.95; 2-пентадеканон 2.75; пентадеканал 11.59; циклододэканол 0.65; 4-додэцен-1-ол 0.80; 13-октадеценал 0.47; 1-додэцен 1.74; *trans*-2-ундецен-1-ол 0.59; 2-гептадеканон 2.03; 1,19-эйкосадиен 2.42; стигмастерол 3.80; 1,13-тетрадекадиен 3.60; *cis*-9-гексадеценал 5.97; 11(13-метил)тетрадецен-1-ол ацетат 4.51; 6-гептилтетрагидро-2H-пиран-2-он 0.77; 2-хлорпропионовая кислота, октадецил эфир 2.96; тетрагидро-2-(12-пентадециноилокси)-2H-пиран 1.52; пентадеканал 0.78; 5-тетрадецен 0.45; метил-5,9,12-октадекатриеноат 1.91; 9,12-октадекадиеновая кислота метил эфир 5.08; сернистая кислота, додецилгексил эфир 1.58; октадекановая кислота, метил эфир 0.87; тетрагидро-6-пропил-2H-пиран-2-он 1.60; 3-додэцен 0.53; 2-гексадеканол 0.40; метил-10-*trans*,12-*cis*-октадекадиеноат 0.92; тетрагидро-2-(12-пентадециноилокси)-2H-пиран 0.72; 7-этинил-1,2,3,4,4а,5,6,7,8,9,10,10а-додэкагидро-1,4а,7-триметил-1-фенантренокарбоновая кислота, метил эфир 0.40; 7-этинил-1,2,3,4,4а,5,6,7,8,9,10,10а-додэкагидро-1,4а,7-триметил-1-фенантренокарбоновая кислота, метил эфир 0.46; метил 5,11,14-эйкосатриеноат 0.99; *cis*-11,14-эйкосадиеновая кислота, метил эфир 0.97; 4-гидрокси-октадекановая кислота, метил эфир 1.94; ноналактон 0.54; 4-этил-5-метил-нонан 0.53; 1-монолинолеилглицерол 0.29; 1,21-додэсадиен 0.24; 8-октадецен-1-ол ацетат 0.25; 1-изоцианато-бутан 0.44; 2-гексадеканон 0.11; 14-трикосенил формиат 0.27; 4-метил-циклогексанон 0.28; 7,8,12,13-диэпокси-трихотец-9-ен-4-ол 0.09; 4,16-октадекадиен-1-ол ацетат 0.11; 2-бromo-октадеканал 0.03; 1-bromo-11-йодoundэкан 0.13; 12-трикосанон 0.05; 1-циклогексилнонен 0.04; 1-октадецен 0.02; 1-гексадеканетiol 0.08; 2-тридеканон 0.04; 2-трифлюороацетокси-пентадекан 0.05; 2-метил-гексадекан 0.03; 1,8-диокса-5-тиаоктан 0.03; 2-пирозолин-5-ол 0.01; 4-циклогексил-ундекан 0.05; фумаровая кислота, циклогексил гептадецил эфир 0.01; 1-гексадеканетiol 0.04; нонадекан 0.02; 3,5-дихлоро-трицикло[2.2.1.0(2,6)]гептан 0.02; холест-3,5-диен 0.05; 1-гексадеканетiol 0.03; децил дисульфид 0.02; N-бензил-N-этил-п-изопропилбензамид 0.04.

Содержание жирных кислот в липидной фракции исследуемых образцов, выделенной экстрагированием смесью хлороформа и метанол (%)

The content of fatty acids in the lipid fraction of test samples selected a mixture of chloroform and methanol (%)

Наименование жирной кислоты	Жирные кислоты талловых масел	Талловое масло (свежее)	Талловое масло (хранение 7 лет)	Время идентификации, мин
Капроновая (caproic) C 6:0	–	–	–	4,32
Каприловая (caprylic) C 8:0	–	0,09	0,06	4,70
Каприновая (capric) C10:0	–	0,22	0,12	6,59
Деценовая (cis-9-decenoic) C10:1	–	–	0,03	6,88
Ундециловая (undecanoic) C11:0	–	0,08	0,04	8,42
Лауриновая (dodecanoic) C12:0	0,33	0,31	0,12	8,60
Тридекановая (tridecanoic) C13:0	–	0,09	0,1	9,60
Миристиновая (tetradecanoic) C14:0	0,17	0,19	0,15	10,76
Миристолеиновая (cis-9-tetradecenoic) C 14:1	–	0,08	0,25	11,25
Пентадекановая (pentadecanoic) C15:0	–	–	0,89	11,70
цис-10-пентадеценовая (cis-10-pentadecenoic) C15:1	–	0,3	0,1	12,12
Пальмитиновая (hexadecanoic) C16:0	1,79	1,8	1,18	12,79
Пальмитолеиновая (cis-9-hexadecenoic) C16:1	0,2	0,4	0,19	13,68
Маргариновая (heptadecanoic) C17:0	0,3	0,7	0,1	14,05
Гептадеценовая (cis-10-heptadecenoic) C17:1	1,27	1,16	0,22	14,30
Стеариновая (octadecanoic) C18:0	5,57	2,3	21,48	15,52
Олеиновая (cis-9-octadecenoic) C18:1n9c	20,3	20,8	27,7	15,73
Элаидиновая (trans-9-octadecenoic) C18:1n9t	0,2	–	1,45	15,96
Линолевая (cis-9,12-octadecadienoic) C18:2n6	48,4	33,5	16,37	16,37
γ-Линоленовая (cis-6,9,12-octadecatrienoic) C18:3n6	8,21	9,2	1,67	17,95
α-Линоленовая (cis-9,12,15-octadecatrienoic) C18:3n3	2,12	1,68	1,1	18,25
Нондекановая (nonadecanoic) C19:0	0,05	–	0,77	18,40
Гадолеиновая (cis-11-eicosenoic) C20:1n9	0,5	2,04	1,43	18,65
Арахидиновая (eicosanoic) C20:0	3,04	3,81	1,92	18,75
цис-11,14-эйкозодиеновая (cis-11,14-eicosadienoic) C20:2	0,07	3,33	1,62	18,80
цис-8,11,14-эйкозатриеновая (cis-8,11,14-eicosatrienoic) C20:3n6	0,23	0,88	2,52	18,95
цис-11,14,17-эйкозатриеновая (cis-11,14,17-eicosatrienoic) C20:3n3	0,1	–	1,68	19,11
Арахидоновая (cis-5,8,11,14-eicosatetraenoic) C20:4n6	0,2	2,52	0,28	19,25
Эйкозапентаеновая (cis-5,8,11,14,17- eicosapentaenoic) C20:5n3	0,06	0,21	0,28	19,36
Генэйкозановая (heneicosanoic) C21:0	0,35	0,63	0,23	19,57
Бегеновая (docosanoic) C22:0	0,26	0,95	1,04	19,75
Эруковая (cis-13-docosenoic) C22:1n9	0,14	0,3	0,37	20,24
цис-13,16,17-докозодиеновая (cis-13,16,17-docosadienoic) C22:2	0,06	1,1	1,07	20,67
Докозапентаеновая (cis-5,8,11,14,17-eicosapentaenoic) C22:5n3	–	–	0,3	21,53
Докозагексаеновая (cis-4,7,10,13,16,19-docosahexaenoic) C22:6n3	–	–	–	22,05
Трикозановая (tricosanoic) C23:0	0,34	–	0,18	23,2
Лигноцерининовая (tetracosanoic) C24:0	0,23	3,96	1,36	22,9
Тетракозеновая (cis-15-tetracosenoic) C24:1	–	–	0,1	23,73
Неидентифицированные ЖК	5,5	7,4	11,5	
Сумма	100	100	100	

(–) – не идентифицировано в анализе

Обобщенная характеристика состава исследованных образцов

Characteristics of the studied composition samples

Наименование жирной кислоты	Жирные кислоты талловых масел	Талловое масло (свежее)	Талловое масло (хранение 7 лет)
Насыщенные жирные кислоты	12,43	15,13	29,74
Ненасыщенные жирные кислоты, всего	82,06	77,5	58,73
в том числе с одной двойной связью С :1	22,61	25,08	31,84
с двумя двойными связями С :2	48,53	37,93	19,06
с тремя двойными связями С :3	10,66	11,76	6,97
с четырьмя двойными связями С :4	0,2	2,52	0,28
с пятью двойными связями С :5	0,06	0,21	0,58
Кислоты с числом атомов углерода С ₆ -С ₁₇	4,06	5,42	3,55
Кислоты с числом атомов углерода С ₁₈	84,8	67,48	69,77
Кислоты с числом атомов углерода С ₁₉ -С ₂₄	5,63	19,73	15,15

Влияние жирных кислот таллового масла и присадки Хайтек-580 на противоизносные свойства гидроочищенной керосиновой фракции

Effect of polyunsaturated fatty acids from tall oil and additives HITEC 580

on anti-wear properties of purified kerosene fraction

Количество введенной присадки, % масс.	Диаметр пятна износа, мм			
	Присадка HITEC 580	Жирные кислоты таллового масла		Дистиллированное талловое масло
		образец № 1	образец № 2	
без присадки	0,86	0,86	0,86	0,86
0,0020	0,68	0,58	0,56	0,58
0,0035	0,63	0,51	0,53	0,54
0,0100	0,57	0,47	0,46	0,48
0,0200	0,55	0,45	0,44	0,47

Анализ химического состава рассматриваемых объектов показывает, что, кроме жирных кислот, в липидной части продуктов содержатся также в значительных количествах другие органические вещества разных классов. Эти вещества образуются как результат распада базовых компонентов таллового масла, получаемого из растительного сырья, так и в результате технологической переработки. По своим физико-химическим свойствам эти вещества могут дополнительно выступать в качестве эффективных присадок, замедляющих механическое разрушение поверхности металла работающих технических устройств и ингибировать коррозионные процессы.

Проведенные исследования показали, что в жирных кислотах талловых масел содержание ненасыщенных жирных кислот составляет 82 %. Главным образом, это кислоты состава С₁₈ (84,8 %), а основными компонен-

тами являются линолевая (48,4 %), олеиновая (20,3 %) и линоленовая (10,3 %) кислоты. Талловые масла (свежие) содержат несколько меньшее количество ненасыщенных жирных кислот – 77,5 %. При этом содержание кислот состава С₁₈ значительно ниже (67,5 %, в т. ч. линолевая 33,5 %, олеиновая 20,8 %, линоленовая 10,9 %), но содержится существенно больше жирных кислот С₁₉ – С₂₄ (19,7 %, против 5,58 % в жирных кислотах таллового масла). В процессе хранения талловых масел, вследствие процессов окисления, содержание ненасыщенных жирных кислот с несколькими двойными связями снижается, а увеличивается доля насыщенных кислот и ненасыщенных кислот с одной двойной связью (табл. 2).

Таким образом, жирные кислоты, являющиеся продуктом сульфатцеллюлозного производства, содержат большое количество кислот с числом атомов углерода более

18 и могут являться основой для противоизносных присадок к топливам для реактивных двигателей. Их несомненным достоинством является наличие обширной сырьевой базы и развитого промышленного потенциала для производства, а также невысокая стоимость.

Результаты сравнительных испытаний влияния жирных кислот сульфатцеллюлозного производства на противоизносные свойства гидроочищенной керосиновой фракции представлены в табл. 3.

В результате исследования установлено, что жирные кислоты сульфатцеллюлозного производства эффективно улучшают противоизносные свойства топлив для реактивных двигателей – при введении их в минимальном количестве (0,002 %) диаметр пятна износа тестового шарика снижается в 1,5 раза (с 0,86 мм до 0,56–0,58 мм). А при введении жирных кислот сульфатцеллюлозного производства в количестве, характерном для противоизносных присадок, используемых в настоящее время (0,0035 %), диаметр пятна износа тестового шарика составляет 0,51–0,54 мм, что находится в диапазоне значений, характерном для прямогонных топлив для реактивных двигателей [13–14]. Увеличение концентрации жирных кислот сульфатцеллюлозного производства свыше 0,01 % не дает заметного улучшения противоизносных свойств топлива.

Необходимо отметить, что жирные кислоты сульфатцеллюлозного производства более эффективно улучшают противоизносные свойства топлив для реактивных двигателей, чем применяемая в настоящее время, американская присадка Хайтек-580. Диаметр пятна износа тестового шарика при введении жирных кислот сульфатцеллюлозного производства в количестве 0,0035 % снижается на 0,32–0,35 мм, тогда как при введении Хайтек-580 в том же количестве он снижается всего на 0,23 мм. Для достижения эффекта аналогичного введению 0,0035 % жирных кислот сульфатцеллюлозного производства необходимо вводить присадки Хайтек-580 в 5 раз больше – не менее 0,02 %.

Сопоставление данных по составу жирных кислот сульфатцеллюлозного произ-

водства (табл. 1) и данных по их влиянию на противоизносные свойства гидроочищенной керосиновой фракции (табл. 3) показывает, что отличия в составе исследованных образцов не оказывают влияния на способность жирных кислот сульфатцеллюлозного производства улучшать противоизносные свойства керосиновых фракций. Жирные кислоты таллового масла и дистиллированное талловое масло оказывают примерно равное влияние на изменение противоизносных свойств гидроочищенной керосиновой фракции, а наблюдаемые различия находятся в пределах точности метода испытания. Так, при введении жирных кислот таллового масла в концентрации 0,0035 % диаметр пятна износа тестового шарика составляет 0,51–0,53 мм, а при введении дистиллированного таллового масла в тех же концентрациях диаметр пятна износа тестового шарика составляет 0,54 мм, предел повторяемости метода испытаний составляет 0,03 мм. Однако необходимо отметить, что, несмотря на отличия в содержании индивидуальных веществ, жирные кислоты таллового масла и дистиллированное талловое масло имеют одну общую черту – содержание жирных кислот с числом атомов углерода 18 и более составляет примерно 95 %. Следовательно, можно предположить, что любая смесь жирных кислот различного происхождения, в которой содержание жирных кислот с числом атомов углерода 18 и более составляет около 95 %, будет обладать способностью – эффективно улучшать противоизносные свойства керосиновых фракций.

Заключение

Оценивая результаты проведенных испытаний, можно с уверенностью утверждать, что введение жирных кислот сульфатцеллюлозного производства в гидроочищенные керосиновые фракции значительно улучшает их противоизносные свойства. Для оценки возможности их применения при производстве товарных топлив необходимо провести дополнительные исследования по изучению влияния жирных кислот сульфатцеллюлозного производства на другие эксплуатационные свойства топлив для реактивных двигателей.

Библиографический список

1. Шаталов, К.В. Качество отечественных топлив для реактивных двигателей / К.В. Шаталов, Н.М. Лихтерова, Е.П. Серегин // Технологии нефти и газа. – 2016. – № 1. – С. 3–6.
2. Яновский, Л.С. Инженерные основы авиационной химмотологии. / Л.С. Яновский, И.Ф. Дубовкин, Ф.М. Галимов, Т. Н. Шигабиев, Ю.Ф. Гортышев, В.В. Горячев, В.А. Кондратьев, В.А. Аляев. – Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2005. – 714 с.
3. Саблина, З.А. Присадки к моторным топливам. Изд. 2-е, пер. и доп. / З.А. Саблина, А.А. Гуреев. – М.: Химия, 1977. – 258 с.
4. Вишнякова, Т.П. Стабилизаторы и модификаторы нефтяных дистиллятных топлив / Т.П. Вишнякова, И.А. Голубева, И.Ф. Крылов, О.П. Лыков. – М.: Химия, 1990. – 192 с.
5. Химическая энциклопедия в 5 томах. т.3 / гл. ред. И.Л. Куныц – М.: Большая российская энциклопедия, 1992. – 641 с.
6. Владимирова, Т.М. Получение и переработка талловых продуктов: моногр. Т.М. Владимирова, С.И. Третьяков, В.И. Жабин, А.Е. Коптелов. – Архангельск: Изд-во Арханг. гос. техн. ун-та, 2008. – 155 с.
7. Чинь, Х.Ф. Модификация таллового масла листовых пород / Х.Ф. Чинь, Г.И. Царев, В.И. Рошин // Лесной журнал. – 2014. – № 2 (338). – С. 123–129.
8. Лисицын, А.Б. Методы практической биотехнологии. Анализ компонентов и микропримесей в мясных и других пищевых продуктах / А.Б. Лисицын, А.Н. Иванкин, А.Д. Неклюдов. – М.: ВНИИМП, 2001. – 402 с.
9. Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок Р 4.1.1672–03. – М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. – 240 с.
10. Иванкин, А.Н. *Цис- транс-* конформационные изменения бактериальных жирных кислот в сравнении с аналогами животного и растительного происхождения / А.Н. Иванкин, А.В. Куликовский, Н.Л. Вострикова, И.М. Чернуха // Прикладная биохимия и микробиология. – 2014. – Т. 50. – № 6. – С. 604–611.
11. Vedernikov D.N., Roshchin V.I. Extractive compounds of betulaceae family birch buds (*Betula pendula* Roth.). Composition of triterpene seco-acids. // Russian Journal of Bioorganic Chemistry. – 2012. – V. 38. – № 7. – P. 762–768.
12. Чинь, Х.Ф. Каталитическая димеризация линолевой кислоты / Х.Ф. Чинь, В.Б. Некрасова, Г.И. Царев, В.И. Рошин // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2012. – № 199. – С. 226–234.
13. Шаталов, К.В. Проблемы применения зарубежных методов для контроля качества топлив для реактивных двигателей. / К.В. Шаталов, Н.М. Лихтерова, Е.П. Серегин // Мир нефтепродуктов. Вестник нефтяных компаний. – 2014. – № 4. – С. 24–27.
14. Шаталов, К.В. Проблема оценки противозносных свойств современных отечественных реактивных топлив. / К.В. Шаталов, Н.М. Лихтерова, В.В. Кондратенко, Д.Ф. Баевский // Научный вестник МГТУ ГА. – 2014. – № 8 (206). – С. 37–42.

THE POSSIBILITY OF THE USE OF POLYUNSATURATED FATTY ACIDS IN TALL OIL AS ANTI-WEAR ADDITIVES TO FUELS FOR JET ENGINES

Shatalov K.V., «The 25-th State Research Institute of Himmotology, Ministry of Defense of Russian Federation», Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾; **Gorunova A.K.**, Gubkin University⁽²⁾; **Likhterova N.M.**, «The 25-th State Research Institute of Himmotology, Ministry of Defense of Russian Federation», Prof., Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; **Ivankin A.N.**, Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Chem.)⁽³⁾; **Baburina M.I.**, VNIIMP, Ph. D. (Biol.)⁽⁴⁾; **Kulikovskii A.V.**, VNIIMP Ph. D. (Tech.)⁽⁴⁾

aivankin@mgul.ac.ru, sanechka-08122@mail.ru

⁽¹⁾«The 25-th State Research Institute of Himmotology, Ministry of Defense of Russian Federation», Molodogvardeiskaya, 10, Moscow, 121467, Russia

⁽²⁾«Gubkin Russian State University of Oil and Gas (National Research University)», 65 Leninsky Prospekt, Moscow, 119991, Russia

⁽³⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia,

⁽⁴⁾The V.M. Gorbатов All-Russian Meat Research Institute, Talalikhin st., 26, Moscow, 109316, Russia

The problem of technical devices operated by domestic anti-wear agents that increase the quality of motor fuels, in particular aviation fuels, has been considered. The relevance problem of replacing kerosene fractions and hydrogenated mono- and bicyclic naphthenic acids conventionally used as anti-corrosion additives and antiwear additives for foreign vegetable compositions based on natural fatty acids was noted. Composition of main tall oil fatty acid was studied. The samples used «fatty acid tall» products according to State Standard RU 14845-79 and «distilled tall oil» on Technical State of Russia 13-00281074-26-95 produced by JSC «Segezha Pulp and Paper Mill.» Determination of fatty acids was performed by gas chromatography with a flame ionization detector. The composition of the volatile components were analyzed by gas chromatography-mass spectroscopy. We studied the effect of tall oil fatty acids and additives on the wear properties of hydrotreated kerosene fraction. Studies have shown that was 82 %, including the composition of C18 acids (84.8 %) of fatty acids in samples selected from tall oils, unsaturated fatty acid content and the major components are: linoleic 48.4 %, oleic 20.3 % and linoene 10.3 % of the acid. It was shown that the fresh tallow oils contain minimal amounts of unsaturated fatty acids – 77.5 %. The quantity of acid composition C18 was lower – 67.5 %, including linoleic 33.5 %, oleic 20.8 %, linoleic 10.9 %. The C19 – C24 fatty acid content was above 19.7 %, compared to 5.58 % tall oil fatty acids. During long-term storage of tall oils, due to oxidation processes, the content of unsaturated fatty acids with several double bonds decreased. The proportion of saturated acids and unsaturated fatty acids with one double bond increased. The main chemical components of tall oil were identified. It was shown that a high content of higher fatty acids in the by-product of pulp and paper production allows us to consider it as a promising anti-wear additive for motor fuels reagent-thrusters.

Keywords: substances of tall oil; fatty acid composition; stable additives; fuels for jet engines.

References

1. Shatalov K.V., Likhterova N.M., Seregin E.P. *Kachestvo otechestvenih topliv dla reaktivnih dvigatelei* [Quality of domestic jet fuels], Oil and gas technology, 2016, № 1, pp. 3-6.
2. Janivski L.S., Dubovkin I.F., Galimov F.M., Shigabiev T.N., Gortyshev U. F., Goryachev V.V., Kondrat'ev V.A., Alyaev V.A. *Ingenierie osnovi aviacionnoi himmotologii* [Engineering fundamentals of aviation himmotology], Kazan, Kazan University Publ., 2005, 714 p.
3. Sablina Z.A., Gureev. A.A. *Prisadki k motonim toplivam* [Additives to motor fuels], Moscow, Chemistry, 1977, 258 p.
4. Vishnyakova T.P., Golubeva I.A., Krylov I.F., Lykov O.P. *Stabilizatori i modifikatori nefnanih distilatnih topliv* [Stabilizers and modifiers of oil distillate fuels], Moscow, Chemistry, 1990, 192 p.
5. Chemical encyclopedia in 5 V. V. 3 / Ed. Knunyants I.L. Moscow, Russian encyclopedia, 1992. 641 p.
6. Vladimirova T.M., Tretyakov S. I., Gabin V.I., Koptelov A.E. *Poluchenie i pererabotka talovih produktov* [Receipt and processing of tall oil products: monograph], Arkhangelsk, Arkhangelsk State Technical University Publ., 2008, 155 p.
7. Chin H.F., Tsarev G.I., Roschin V.I. *Modifikatsia tallovogo masla listvenih porod* [Modification of tall oil hardwood], Forest magazine, 2014, № 2 (338), pp. 123-129.
8. Lisitsyn A.B., Ivankin A.N., Neklyudov A.D. *Metodi prakticheskoi biotekhnologii* [Methods of practical biotechnology. Analysis of components and micro-impurities in meat and other foodstuffs], Moscow, VNIIMP Publ., 2001, 402 p.
9. *Rukovodstvo po metodam kontrola rfchestva i bezopasnosti biologicheskikh dobavok* [Guidance on methods of quality control and safety of biologically active food additives], R 4.1.1672–03, Moscow, Federal Center gossanepidnadzora Russian Ministry of Health, 2004, 240 p.
10. Ivankin A.N., Kulikovskiy A.V., Vostrikova N.L., Chernukha I.M. *Cis-, trans-konformacionie izmeneniya bakterialnih girnih kislot v sravnenii s analogami givotnogo i rastitelnogo proishogdenia* [Cis-, trans-conformational changes of bacterial fatty key slot in comparison with analogues of animal and vegetable origin], Journal of Applied Biochemistry and Microbiologia, 2014, No 6 (50), pp. 604.
11. Vedernikov D.N., Roshchin V.I. Extractive compounds of betulaceae family birch buds (*betula pendula* roth.). Composition of triterpene seco-acids / Vedernikov D.N., Roshchin V.I. Russian Journal of Bioorganic Chemistry. 2012. V. 38. № 7. pp. 762-768.
12. Chin H.F., Nekrasova V.B., Tsarev G.I., Roshchin V.I. *Kataliticheskaya dimerizasia linolevoi kisloti* [Catalytic dimerization of linoleic acid], Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy, 2012, No 199, pp. 226-234.
13. Shatalov K.V., Likhterova N.M., Seregin E.P. *Problemi primeneniya zarubegnih metodov kontrolya kachestva topliv dlia reaktivnih dvigatelei* [Problems of application of international methods for quality control of jet fuels], World of Oil Products, The Oil Companies Bulletin, 2014, № 4, pp. 24-27.
14. Shatalov K.V., Likhterova N.M., Kondratenko V.V., Baevskiy D.F. *Problemi ochenki protivvoiznosnih svoistv sovremennih otechestvennih reaktivnih topliv* [Problem of assessing the anti-wear properties modern domestic jet fuel], Scientific Bulletin of MGTU GA, 2014, No 8 (206), pp. 37-42.

ЭФФЕКТИВНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ НА ОСНОВЕ РАЗРЕШЕННОЙ МАКСИМАЛЬНОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИ

С.В. БУДАЛИН, доц. УГЛТУ, канд. техн. наук⁽¹⁾,
С.В. НИКУЛИН, асп. УГЛТУ⁽¹⁾

svbudalin@mail.ru, nsv-501@ya.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет (УГЛТУ)»,
620100, Екатеринбург, ул. Сибирский Тракт 37

Формирование состава лесовозного автопоезда заключается в определении рациональной его массы, подборе прицепного состава, который позволяет наиболее полно реализовать массу поезда и обеспечить максимальную рейсовую нагрузку при оптимальном ее размещении на подвижном составе, не превышая при этом разрешенную максимальную массу автомобиля. Рассмотрены причины и следствия превышения разрешенной максимальной массы лесовозных автомобилей. Для достижения эффективной эксплуатации лесовозного транспорта необходимо полнее использовать допустимые весовые параметры автопоездов. При существующих дорожных условиях, не позволяющих развивать высокие скорости, допустимая полная масса автопоезда должна быть ограничена допустимой нормативной величиной грузоподъемности. Исходя из предлагаемых автомобилей, прицепного состава и применяемых схем комплектования, рекомендуется подбирать такой состав автопоезда, полная масса которого будет близка к максимальной. Проанализированы способы измерения разрешенной полной массы грузовых автомобилей. Рассмотрены конструкции и типоразмеры манипуляторов, которыми оснащаются лесовозные автомобили. Определены пути измерения массы груза, непосредственно при подъеме стрелы манипулятора. Предложены устройства для определения массы сортиментов, перевозимых лесовозными автомобилями с гидроманипуляторами, имеющими рессорную балансирную подвеску и систему регулирования давления в шинах, которыми оснащены автомобили КАМАЗ, УРАЛ или другие автомобили повышенной проходимости. Таким образом, определение массы сортиментов уже на небольшом подъеме стрелы манипулятора даст возможность водителю-оператору знать массу перемещаемого груза и корректировать ее выбором количества захватываемых лесоматериалов, что экономит время на разгрузку в случае превышения полной максимальной массы лесовозного автомобиля.

Ключевые слова: лесовозные автомобили-сортиментовозы, грузоподъемность, разрешенная максимальная масса, весоизмерительное оборудование, датчики, навесные манипуляторы, грузозахватное устройство, устройство для определения массы сортиментов.

Для лесовозного автомобильного транспорта, как и для всего лесопромышленного комплекса, основной задачей развития является дальнейшее повышение эффективности производства. Это означает, что лесотранспортный процесс должен осуществляться с минимальной себестоимостью, наименьшими затратами труда и материальных средств, наиболее быстро, безопасно и безвредно для окружающей среды.

Цель формирования состава лесовозного автопоезда заключается в определении рациональной массы, подборе прицепного состава, который позволяет наиболее полно реализовать массу поезда и обеспечить максимальную рейсовую нагрузку при рациональном ее размещении на подвижном составе, не превышая при этом разрешенную максимальную массу автомобиля [1–3].

Рациональной массой автопоезда следует считать такую, при которой наиболее полно используются тяговые свойства автомобиля по двигателю и сцепной массе и достигается максимальная производительность при относительно невысоком расходе топлива и износе двигателя на единицу транспортной работы. Оптимальной рейсовой нагрузкой следует считать такую, при которой себестоимость вывозки одного кубокилометра достигает минимума.

Причины превышения разрешенной максимальной массы могут быть разными – достижение максимальной прибыли, когда предприниматели и водители осознанно перегружают автомобиль; отсутствие возможности измерить массу груженого транспортного средства, хотя некоторые опытные водители ориентируются по рессорам.

Превышение разрешенной максимальной массы опасно не только для предпринимателя и руководителя автопредприятия большими штрафами, но уменьшением ресурса ходовой части и шин лесовозного автомобиля, так как увеличивается износ сцепления, коробки перемены передач и раздаточной коробки, редукторов мостов, а для седельного тягача повышается нагрузка на замок седельно-сцепного устройства. Возрастает риск опрокидывания автомобиля из-за повышения центра тяжести, уменьшается его маневренность, увеличивается тормозной путь.

На сегодняшний день лесовозные автомобили и, в первую очередь, сортиментовозы из-за удаленности лесосек для доставки лесоматериалов на обрабатывающие предприятия используют дороги общего пользования [1, 3–5].

Практика показывает, что при условии непревышения предельной полной массы поезда в большинстве случаев с увеличением рейсовой нагрузки возрастает производительность лесотранспортного средства. Это объясняется тем, что с увеличением массы брутто скорость движения падает медленнее, чем растет нагрузка, так как «при этом увеличиваются коэффициент использования грузоподъемности и коэффициент использования мощности двигателя [1].

На лесовозных дорогах скорость движения при увеличении полной массы изменяется незначительно, так как в этом случае она ограничивается не мощностью двигателя, а вертикальными динамическими нагрузками на поезд.

Поэтому для достижения эффективной эксплуатации лесовозного транспорта необходимо стремиться полнее использовать допустимые весовые параметры автопоездов.

На лесовозных дорогах предельно допустимое значение расчетной массы поезда с грузом определяют из условия обеспечения возможности его равномерного движения на руководящем уклоне [1]. Исходя из уравнения тягового баланса, расчетную предельную

полную массу автомобильного поезда определяют по формуле

$$Q_{bp} = F_k / (W_0 + g i_p), \quad (1)$$

где Q_{bp} – предельная полная масса лесовозного поезда по силе тяги автомобиля, т,
 F_k – расчетная касательная сила тяги автомобиля с учетом ограничения по сцеплению, Н,
 W_0 – основное удельное сопротивление движению, Н/т,
 g – ускорение свободного падения, м/с²,
 i_p – руководящий уклон, %.

Величина касательной силы тяги ограничивается мощностью двигателя лесовозного автомобиля и сцеплением ведущих колес с дорогой и определяется по общеизвестным формулам. Перед выбором прицепного состава к принятому автомобилю следует произвести проверку полной массы поезда по рекомендуемой величине удельной мощности двигателя

$$Q_{bp} \leq N / N_{yo}, \quad (2)$$

где N – мощность двигателя, кВт;
 N_{yo} – рекомендуемая удельная мощность двигателя автомобильного поезда, кВт/т.

В.А. Горбачевский считает, что при установлении предельной полной массы автотранспортного средства необходимо, чтобы минимальная удельная мощность двигателя тяговой машины была не менее 6,5 л. с./т (4,8 кВт/т), а повышение ее до 8,0–10,0 л. с./т (5,9–7,4 кВт/т) позволит увеличивать скорости движения [1].

Практика многих лесных предприятий Северо-Запада страны, Урала и Сибири показывает, что при существующих дорожных условиях, не позволяющих развивать высокие скорости, допустимая полная масса автопоезда может быть определена по формуле (1), но ограничена допустимой нормативной величиной.

Затем, исходя из имеющегося прицепного состава и применяемых схем комплектования, следует подобрать такой состав автопоезда, полная масса которого будет близка Q_{max} , т. е.

$$Q'_{\max} = P_a + \sum P_{np} + Q_a + \sum Q_{np} \leq Q_{\max}, \quad (3)$$

где Q'_{\max} – фактическая полная масса лесовозного автопоезда (по грузоподъемности), т;

P_a – масса автомобиля без груза, т;

P_{np} – масса всех прицепных единиц без груза, т;

Q_a – грузоподъемность автомобиля, т;

Q_{np} – суммарная грузоподъемность всех единиц прицепного состава, т.

При выборе прицепного состава следует отдавать предпочтение единицам с меньшей собственной массой при одинаковой грузоподъемности.

При формировании самозагружающихся автопоездов гидроманипулятор может размещаться на автомобиле или на прицепных единицах. Поэтому при определении полной массы автопоезда значения собственной массы транспортной единицы следует увеличивать на величину массы манипулятора, а ее грузоподъемность уменьшать. Величина снижения грузоподъемности зависит от размещения манипулятора на транспортной единице [1, 3, 4]. Полезная нагрузка на автопоезд может быть определена исходя из тяговых возможностей автомобиля

$$Q_{\text{пол}} = \frac{Q_{\max} - P_a - \sum P_{np}}{\gamma}, \quad (4)$$

где γ – средняя плотность (объемная масса) древесины т/м³;

по грузоподъемности

$$Q_{\text{пол}} = \frac{Q_a + \sum Q_{np}}{\gamma} \quad (5)$$

из возможности размещения груза на автопоезде или грузоподъемности

$$Q_{\text{пол}} = \sum_{i=1}^{n_n} V_{ci} \times K_{ni}, \quad (6)$$

где V_{ci} – объем, занимаемый i -й пачкой сортиментов, м³;

K_{ni} – коэффициент полндревесности i -й пачки;

n_n – число пачек сортиментов на автопоезде.

Занимаемый пачкой сортиментов объемом V_c определяется по формуле

$$V_c = (B_G - b_{cm}) l_c h_n, \quad (7)$$

где B_G – габаритная ширина автопоезда, м,

b_{cm} – толщина стоек, м,

l_c – длина сортиментов, м,

h_n – высота пачки, м.

Для дальнейших расчетов принимают меньшее из сравниваемых значений $Q_{\text{пол}}$. При сравнении автопоездов, сформированных на базе одного автомобиля, в большинстве случаев предпочтение следует отдать прицепному составу, обеспечивающему наибольшую величину $Q_{\text{пол}}$. При различных автомобилях и сопоставимой величине $Q_{\text{пол}}$ необходимо определить производительность автопоезда – основную величину, определяющую фактор выбора состава, а также экономические показатели работы его вариантов.

Существует много способов измерения разрешенной полной массы грузовых автомобилей. Наиболее распространенный – установка стационарных весов в местах погрузки, но применять этот способ при лесозаготовках нереально из-за постоянной смены местоположения лесосек. Отдельные автопроизводители оборудуют грузовые автомобили с рессорной подвеской встроенным весоизмерительным оборудованием, принцип действия которого заключается в определении полной массы с помощью тензометрических датчиков и датчиков давления в шинах транспортного средства [6]. На грузовых автомобилях с пневматической подвеской для определения нагрузки на ось используются датчики давления, устанавливаемые в контур пневмоподвески одной из осей, и контроль за осевыми нагрузками осуществляется путем применения аппаратных программных решений [7]. Недостатком данного способа является практически отсутствие пневматических подвесок на лесовозных автомобилях.

Вышеперечисленные способы имеют общий недостаток – определение массы груза осуществляется только после его установки на грузовую платформу, в случае пре-

вышения разрешенной максимальной массы требуется разгрузка до нужных пределов. Напрашивается вывод о необходимости установки на загрузочные механизмы-манипуляторы, которыми оснащаются лесовозные автомобили, весоизмерительного оборудования [8, 9].

В настоящее время известно большое количество различных по конструкции и типоразмерам навесных манипуляторов [3–5]. Разработкой и изготовлением манипуляторов занимаются многочисленные фирмы и заводы как в нашей стране, так и за рубежом. Анализ источников и рекламной информации показывает, что на лесотранспортных работах из отечественных манипуляторов наиболее распространены установки Великолукского, Майкопского, Соломбальского машиностроительных заводов и Софринского экспериментально-механического завода. Из зарубежных широко известны манипуляторы финских, шведских, германских, австрийских, канадских и американских фирм-производителей.

Наиболее перспективным направлением является определение массы груза непосредственно при подъеме стрелы манипулятора лесовозного автомобиля. При таком исполнении уже на небольшом подъеме оператор будет знать массу перемещаемого груза и сможет ее корректировать выбором менее тяжелых хлыстов и сортиментов, что экономит время на разгрузку в случае превышения максимально допустимой массы [8, 9].

В НПП «Резонанс» предложен способ повышения безопасности работы стрелового грузоподъемного крана, который заключается в предварительном задании максимально допустимого значения массы перемещаемого груза и его запоминании. В процессе работы крана осуществляется определение текущего значения массы перемещаемого груза путем его вычисления с использованием результатов прямого или косвенного измерения трех параметров. В качестве первого параметра принимается давление в гидроцилиндре подъема стрелы, второго – угол наклона стрелы, а в качестве третьего

используется усилие в грузовом канате или давление в гидроцилиндре телескопической стрелы. Система формирует предупредительный сигнал в случае превышения допустимого значения нагрузки крана.

Существуют устройства для взвешивания груза, содержащие грузотранспортный механизм, силоизмерительные датчики весовых нагрузок, установленные на грузотранспортном механизме, усилительно-преобразовательный блок, электрически связанный с датчиками и световое табло отображения весовых нагрузок [7]. Грузовзвешивающие устройства такого типа оснащены радиоканалом передачи информации на расстояние до 1000 м на персональный компьютер. Недостатком данного устройства является низкая надежность весов, так как она построена на работоспособности силоизмерительного датчика и его канала измерения и отказ датчика приводит к отказу всего устройства.

Проанализированные варианты замера поднимаемой массы применительно для гидравлических манипуляторов, устанавливаемых на лесовозные автомобили, практически невозможно использовать. Необходимо из каждого рассмотренного варианта извлечь полезное звено для формирования единой системы контроля полной массы лесовозного автомобиля [8].

На кафедре АТ УГЛТУ предложены устройства для определения массы сортиментов, перевозимых лесовозными автомобилями с гидроманипуляторами, имеющими рессорную балансирную подвеску и систему регулирования давления в шинах, которыми оснащены автомобили КАМАЗ, УРАЛ или другие автомобили повышенной проходимости [10, 11]. Общим для обоих устройств является силоизмерительный тензорезисторный датчик весовых нагрузок, установленный на гидроманипуляторе лесовозного автомобиля. Он имеет форму оси, что позволяет устанавливать его в силовых вилках или как ось гидроцилиндра. Предлагаемый датчик устанавливается как ось крепления грейферного захвата к стреле гидроманипулятора.

В первом случае устройство содержит датчик давления воздуха в шинах, усилительно-преобразовательный блок, электрически связанный с датчиками, промышленный контроллер и дисплей отображения весовых нагрузок [9, 10]. Для расширения функциональных возможностей в данном устройстве применяются электронный датчик давления воздуха в шинах автомобиля повышенной проходимости. Датчик монтируется в шинные краны задних колес, оборудованных системой регулирования давления. В процессе погрузки сортиментов гидроманипулятором усилие от перемещаемого груза принимают опорные коники автомобиля или прицепа-ропуски, и далее – задние колеса лесовозного автомобиля. Именно изменение давления в шинах задних колес определяет наличие груза на платформе автомобиля. При нахождении стрелы гидроманипулятора над грузовой платформой автомобиля за счет перераспределения нагрузок увеличивается давление в шинах. Датчик давления фиксирует это изменение, сигнал поступает на контроллер и показания силоизмерительного датчика суммируются только при опускании груза на платформу. Контроллер фиксирует информацию о массе груза, сохраняя данные в памяти. При последующей погрузке данные силоизмерительного датчика суммируются, тем самым определяя полную массу груза на автомобиле.

Во втором случае при установке тензорезисторных датчиков в оси балансиров задней подвески автомобиля при нахождении стрелы гидроманипулятора над грузовой платформой датчики фиксируют увеличение нагрузки [11]. Сигналы от датчиков подвески автомобиля поступают на контроллер, а показания силоизмерительного датчика гидроманипулятора суммируются только при опускании груза на платформу. Обработка сигналов происходит как и в предыдущем случае.

Таким образом, определение массы сортиментов уже на небольшом подъеме

стрелы манипулятора даст возможность водителю-оператору знать массу перемещаемого груза и корректировать ее выбором количества захватываемых лесоматериалов, что сэкономит время на разгрузку в случае превышения полной максимальной массы лесовозного автомобиля.

Библиографический список

1. Андрианов, Ю.С. Обоснование рациональной технологии вывозки сортиментов и параметров самозагружающихся транспортных средств (для условий республики Марий Эл): дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01: защищена / Андрианов Юрий Семенович. – Йошкар-Ола, 2000. – 193 с.
2. Будалин, С.В. Оценка эффективности лесовозных автопоездов на этапах выбора и эксплуатации: учеб. пособие / С.В. Будалин. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2015. – 215 с.
3. Смирнов, М.Ю. Повышение эффективности вывозки лесоматериалов автопоездами: научное издание / М.Ю. Смирнов. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2003. – 280 с.
4. Смирнов, М.Ю. Рациональные способы и параметры загрузки автомобильных поездов на вывозке лесоматериалов: дис. ... докт. техн. наук: 05.21.00: защищена / Смирнов Михаил Юрьевич. – Йошкар-Ола, 2011. – 342 с.
5. Вывозка леса автопоездами. Техника, технология, организация: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / И.Р. Шегельман и др.; под ред. И.Р. Шегельмана. – СПб.: ПРОФИКС, 2008. – 304 с.
6. Пат. 2119648 Российская Федерация, МПК В66С113/00. Устройство для взвешивания груза / В.И. Баулин, В.В. Клочай, А.Я. Коваленко и др.; заявитель и патентообладатель ТОО «Техноап ЛТД», ОАО «Северсталь»; заявл. 18.04.1997; опубл. 27.09.1998.
7. Пат. 2426077 Российская Федерация, МПК В66С113/00. Устройство для взвешивания груза / С.И. Попытняков, А.С. Бунич, Л.П. Кирюшин и др.; заявл. 14.12.2009; опубл. 10.08.2011.
8. Измерение массы загружаемых сортиментов на лесовозных автомобилях, оснащенных гидроманипуляторами: сб. науч. тр. / Урал. федерал. ун-т; под ред. В.В. Бакиной. – Екатеринбург, 2014. – 212 с.
9. Измерение массы загружаемых сортиментов на лесовозных автомобилях: матер. X междунар. науч.-техн. конф. / Урал. гос. лесотехн. ун-т; под ред. А.И. Сафронова. – Екатеринбург, 2015. – 402 с.
10. Пат. 149434 Российская Федерация, МПК В66С13/16. Грузотранспортное устройство / С.В. Будалин, С.В. Никулин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Урал. гос. лесотехн. ун-т.; заявл. 14.07.2014; опубл. 10.01.2015. – 5 с.; ил.
11. Пат. 158100 Российская Федерация, МПК В66С13/16. Грузотранспортное устройство / С.В. Будалин, С.В. Никулин; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВПО Урал. гос. лесотехн. ун-т.; заявл. 27.04.2015; опубл. 20.12.2015, Бюл. № 35. – 5 с.

MEASUREMENT OF THE MASS OF LOGS LOADED ON LOGGING VEHICLES

Budalin S.V., Assoc. Prof. USFEU, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾; Nikulin S.V., pg. USFEU⁽¹⁾

svbudalin@mail.ru, nsv-501@ya.ru

⁽¹⁾ Ural State Forest Engineering University (USFEU), Street Siberian tract, 37, Ekaterinburg, 620100, Russia

The purpose of the formation of the composition of wood-train is to determine the rational of its mass, the composition of the selection of the trailer, which allows to fully realize the train mass and maximize the shuttle load in its optimal placement on rolling stock without exceeding the maximum permissible weight of the vehicle. The article deals with the causes and consequences of exceeding the permissible maximum weight of logging vehicles. To achieve an efficient exploitation of forest transport it is needed to make fuller use of the allowable weight parameters of road trains. With the existing road conditions, it should not be allowed to develop high speed, the permissible gross mass of roadtrain should be limited to the allowable size of the regulatory load capacity. On the basis of the proposed vehicles, trailers and used structure manning circuits, it is recommended to select a part of train full of whose mass is close to the maximum. The ways of measuring permissible total mass of the truck were analyzed. The structure and sizes of manipulators, which are equipped with timber-carrying vehicles, were considered together with the ways of measuring the mass of the cargo directly at raising the boom manipulator. A device for determining the mass of assortments transported the logging vehicles with hydraulic manipulators, having a leaf spring balancer and suspension control system pressure in the tires, which are equipped in KAMAZ, URAL and other off-road vehicles. Thus, the determination of the mass of logs already on a small rise of the boom manipulator will enable the operator to know the driver, the mass of transported cargo and to correct its choice of exciting timber, which will save time for unloading in case of exceeding the total maximum mass of logging vehicle.

Keywords: timber-carrying vehicles-timber, load capacity, maximum authorized mass, storage equipment, sensors, mounted cranes, lifting devices, a device for determining the mass of logs.

References

1. Andrianov Yu.S. *Obosnovanie ratsional'noy tekhnologii vyvozki sortimentov i parametrov samozagruhayushchikhsya transportnykh sredstv*. Diss. Cand. tehn. nauk [Substantiation of rational technology of hauling logs and the parameters of self-loading vehicles (for the conditions of the republic of Mari El). Cand. Tech. Sci. Diss.], Yoshkar-Ola, 2000, 193 p.
2. Budalin S.V. *Otsenka effektivnosti lesovoznykh avtopoezdov na etapakh vybora i ekspluatatsii* [Evaluating the effectiveness of logging trucks on the stages of the selection and operation of], Ekaterinburg: USFEU, 2015. 215 p.
3. Smirnov M.Yu. *Povyshenie effektivnosti vyvozki lesomaterialov avtopoezdami* [Improving the efficiency of removal of timber trains], Yoshkar-Ola: MarSTU, 2003, 280 p.
4. Smirnov M.Yu. *Ratsional'nye sposoby i parametry zagruzki avtomobil'nykh poezdov na vyvozke lesomaterialov*. Diss. dokt. tech. nauk [Rational methods and parameters download car trains hauling timber: Dr. Tech. Sci. Diss.]. Yoshkar-Ola, 2011. 342 p.
5. Shegel'man I.R. *Vyvozka lesa avtopoezdami. Tekhnika, tekhnologiya, organizatsiya* [Extraction of timber trains. Engineering, technology, organization], SPb.: PROFIX, 2008, 304 p.
6. Baulin V.I., Klochay V.V., Kovalenko A.Ya. [i dr.] *Ustroystvo dlya vzveshivaniya gruza* [Device for weighing cargo]. Patent RF no. 2119648 Russian Federation, IPC B66C113/00; publ. 09/27/1998.
7. Popytynakov S.I., Bunich A.S., Kiryushin L.P. [i dr.] *Ustroystvo dlya vzveshivaniya gruza* [Device for weighing cargo]. Patent RF no. 2426077, IPC B66C113/00, publ. 10.08.2011.
8. *Izmerenie massy zagruzaemykh sortimentov na lesovoznykh avtomobilyakh, osnashchennykh gidromanipulyatorami* [Measurement of mass loaded logs on logging vehicles equipped with hydraulic manipulators]. Collection of scientific papers, Ural Federal University (UrFU), Ekaterinburg, 2014, 212 p.
9. *Izmerenie massy zagruzaemykh sortimentov na lesovoznykh avtomobilyakh* [Measurement of mass loaded logs on logging vehicles], X Intern. scientific and engineering. Conf. Ekaterinburg, Ural State Forest Engineering University (USFEU), 2015, 402 p.
10. Budalin S.V., Nikulin S.V. *Gruzotransportnoe ustroystvo* [Load Vehicle device]. Patent RF no. 149434, IPC V66S13/16, publ. 01/10/2015, 5 p.
11. Budalin S.V., Nikulin S.V. *Gruzotransportnoe ustroystvo* [Load Vehicle device]. Patent RF no. 158100, IPC V66S13/16, publ. 20.12.2015, 5 p.

УДК 630.378

МЕТОД ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ФИКТИВНОГО УВЕЛИЧЕНИЯ МАССЫ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ЕДИНИЦ ПРИ ИХ НЕРАВНОМЕРНОМ ДВИЖЕНИИ В ВОДЕ

С.В. ПОСЫПАНОВ, доц. САФУ, канд. техн. наук⁽¹⁾*s.posypanov@narfu.ru*⁽¹⁾ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова» (САФУ), 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17

В настоящее время активизировалась разработка новых конструкций лесотранспортных единиц (ЛТЕ), предназначенных для организации экологически щадящего экономичного транспорта лесоматериалов по малым и средним рекам, замещающего прекращенный молевой сплав. Для обеспечения возможности выполнения инженерных расчетов, связанных с применением этих ЛТЕ, проводятся исследования их движения в воде, в том числе неравномерного. Существующие методы исследования неравномерного движения ЛТЕ в воде имеют ряд недостатков и могут быть усовершенствованы. В статье введено понятие коэффициента фиктивного увеличения массы (КФУМ) ЛТЕ, связанного с известным коэффициентом нестационарности, с помощью которого учитываются гидродинамическое сопротивление, обусловленное инерционностью воды, нестационарная часть сопротивления и часть массы воды, заполняющей пустоты в ЛТЕ. Предложен метод экспериментального определения КФУМ, позволяющий при снижении трудоемкости обработки опытных данных обеспечить получение более точных моделей для него или для коэффициента нестационарности, возможность применения для расчета параметров движения ЛТЕ достаточно универсальных аналитических формул, наглядно отражающих физическую сущность явлений. При обосновании метода доказано, что вместо изменяющегося в процессе движения КФУМ может быть использована постоянная для данного случая величина, зависящая, кроме всего прочего, от степени завершенности процессов разгона или торможения. Этой величине присвоено название интервального КФУМ. Его значение определяется исходя из того, что при указанной замене соотношение между параметрами движения остается прежним. Для вычисления интервальных КФУМ предложены формулы, полученные в результате решения дифференциального уравнения, описывающего неравномерное движение ЛТЕ в воде. Дано краткое описание современной регистрирующей аппаратуры и программного обеспечения, позволяющих получать графики зависимости скорости движения ЛТЕ в воде от времени и соответствующие графикам таблицы. Приведен алгоритм установления необходимых данных по этим графикам. Представлены перечни определяющих безразмерных факторов, которые могут быть значимыми при получении математических моделей для интервальных КФУМ в случаях разгона и торможения.

Ключевые слова: сплав, лесотранспортная единица, неравномерное движение, метод, эксперимент, коэффициент, сопротивление воды.

Выполнение технологических и прочностных расчетов при организации лесосплавных работ, выбор или проектирование необходимых машин и механизмов предполагают потребность в сведениях о закономерностях движения в воде лесотранспортных единиц (ЛТЕ), к которым относят плоты, их секции, пучки, линейки из пучков и т. д. Актуальность вопроса возросла в связи активизацией разработок конструкций новых ЛТЕ, предназначенных для организации экологически щадящего экономичного транспорта лесоматериалов по малым и средним рекам, который должен заменить молевой сплав на них. Изучению указанных закономерностей посвящено довольно много работ, базовым источником информации для которых послужили соответствующие труды по движению судов, такие как [1, 10]. Основная часть пуб-

ликаций по ЛТЕ означенного профиля связана с исследованием равномерного движения. Изучение неравномерного не менее важно, но более проблематично. Исследователи, которые занимались им, менее многочисленны. По неравномерному движению ЛТЕ наиболее известны работы К.А. Чекалкина [2], В.Я. Харитоновой [3], А.А. Митрофанова [4], М.М. Овчинникова и П.М. Родионова [5]. Для самых ранних работ характерен весьма упрощенный подход к решаемым задачам. Наиболее основательно означенный вопрос освещен в работах, выполненных под руководством М.М. Овчинникова, и в трудах А.А. Митрофанова. Они, несомненно, внесли большой вклад в рассматриваемую область знаний, что не исключает дальнейшего совершенствования выполненных научных разработок. Отметим, что полученные под

руководством М.М. Овчинникова расчетные зависимости, являясь эмпирическими, недостаточно наглядно отражают физическую сущность явлений. Кроме того, они ориентированы на решение конкретной задачи. В рассмотренном случае [5] по требуемой скорости и по приложенному усилию можно рассчитать путь и время разгона ЛТЕ. Решение других, связанных с этим процессом задач, с помощью полученных зависимостей проблематично.

В аналитических формулах с эмпирическими коэффициентами, рекомендуемых А.А. Митрофановым [4], просматривается физическая сущность явлений. Однако метод, использованный им при определении коэффициентов нестационарности (толкование представлено ниже), связан со значительными ограничениями по сложности и соответственно по точности формул, предназначенных для вычисления этих коэффициентов. Кроме того, для этого метода характерна довольно высокая трудоемкость обработки экспериментальных данных и некоторые другие недостатки.

Учитывая изложенную информацию, наличие более совершенной регистрирующей аппаратуры, современные представления о планировании и обработке данных многофакторного эксперимента, мы сочли целесообразной попытку создания означенного в заглавии статьи метода, предоставляющего более широкие возможности.

Цель работы – создание метода экспериментального определения коэффициента фиктивного увеличения массы (КФУМ) ЛТЕ при их неравномерном движении в воде, предполагающего повышение точности вычисления указанного коэффициента, снижение трудоемкости обработки экспериментальных данных, обеспечение большей универсальности расчетных формул, которые нагляднее отражали бы физическую сущность явлений.

Метод исследования – теоретический. Полученные результаты предполагается использовать при обработке экспериментальных данных.

Предлагаемый в статье метод в большей степени перекликается с использован-

ным в работах [4, 6]. С целью более наглядной демонстрации различий между ними изложение разработки выполнено в сравнительной манере.

При математическом описании неравномерного движения ЛТЕ в воде применимо уравнение

$$M(1+n)dv/dt = -R \pm F, \quad (1)$$

где M – масса ЛТЕ,

dv/dt – ее линейное ускорение,

R – сопротивление воды равномерному движению ЛТЕ, соответствующее мгновенной скорости неравномерного движения,

F – проекция на направление движения равнодействующей сил, приложенных к ЛТЕ извне,

n – коэффициент нестационарности, с помощью которого принято учитывать гидродинамическое сопротивление, связанное с инерционностью воды, нестационарную часть сопротивления [1, 7] и часть массы воды, заполняющей пустоты в ЛТЕ [4].

Во всех формулах, получаемых в процессе и в результате решения данного уравнения, n соседствует с единицей. При этом логично введение обозначения $\phi = 1+n$. Величину ϕ мы и назвали КФУМ ЛТЕ. С учетом этого выражение (1) записали несколько иначе

$$M\phi dv/dt = -R \pm F. \quad (2)$$

Отметим, что изложенные далее положения, связанные с коэффициентом нестационарности n , относятся и к коэффициенту ϕ и наоборот.

Рассмотрим наиболее характерные варианты неравномерного движения ЛТЕ в воде, в первую очередь случай ее разгона относительно потока постоянной силой F . При обращении движения аналогичным ему можно считать торможение постоянной силой F ЛТЕ, перемещающейся под воздействием потока со скоростью, не превышающей его скорости. При этом в уравнении (1) перед F будет стоять знак плюс. Величину R можно выразить через удельное сопротивление r ,

соответствующее единичной относительной скорости v .

$$R = rv^2. \quad (3)$$

При относительно небольших скоростях, характерных для перемещения ЛТЕ, присущее им значение r в процессе движения, как правило, не изменяется [2]. Усилие F также можно выразить через r и относительную скорость равномерного движения v_F , с которой ЛТЕ будет двигаться под его воздействием.

$$F = rv_F^2. \quad (4)$$

После подстановки в уравнение (1) вместо R и F правых частей выражений (3), (4) и разделения переменных получили

$$t = \frac{M}{r} \int \phi \frac{dv}{v_F^2 - v^2}. \quad (5)$$

В соответствии с положениями гидромеханики [7] коэффициент нестационарности n , а значит и ϕ изменяются в процессе неравномерного движения ЛТЕ. При этом ϕ можно рассматривать не только как функцию времени, но и как функцию скорости $\phi(v)$. Это относится и к сомножителю $g(v) = 1/(v_F^2 - v^2)$. Согласно одной из теорем о среднем значении [11] если функции $\phi(v)$ и $g(v)$ непрерывны на $[v_n, v_k]$ и $g(v)$ на $[v_n, v_k]$ не знакопеременна, то в интервале (v_n, v_k) существует такое число V , что справедливо равенство

$$\int_{v_n}^{v_k} \phi(v) \frac{dv}{v_F^2 - v^2} = \phi(V) \int_{v_n}^{v_k} \frac{dv}{v_F^2 - v^2}. \quad (6)$$

Указанные условия выполняются в рассматриваемых нами случаях. Значение функции ϕ при конкретной величине скорости V – определенное число Φ . Далее Φ будем называть интервальным КФУМ. Соответствующее ему значение коэффициента нестационарности обозначим N и также будем называть интервальным. С учетом (5), (6) и приведенных положений записали

$$t = \Phi \frac{M}{r} \int_{v_n}^{v_k} \frac{dv}{v_F^2 - v^2}. \quad (7)$$

После интегрирования для случая разгона от $v_n = 0$, представляющего наибольший интерес, получили выражение

$$t = \frac{\Phi M}{rv_F} \operatorname{arth} \frac{v_k}{v_F}. \quad (8)$$

Эта формула позволяет рассчитать время разгона ЛТЕ до скорости v_k под воздействием внешнего усилия F , учитываемого в ней через v_F , с которой оно связано уравнением (4). Определение M и r описано в ряде работ, например [2, 4], и здесь не рассматривается. Преобразовав формулу (8), получили выражение, которое можно использовать для определения Φ по экспериментальным данным

$$\Phi = \frac{rv_F}{M \operatorname{arth}(v_k/v_F)} t. \quad (9)$$

Формулы, получаемые в результате решения дифференциального уравнения (1) при использовании описанного приема, проще, чем в источнике [4]. Однако это не основное достоинство предлагаемого метода. В работе [4] в случае разгона плота постоянной силой в указанное дифференциальное уравнение вместо n подставляется соответствующее ему выражение, полученное по экспериментальным данным

$$n = n_1 + n_2(v/v_F), \quad (10)$$

где n_1, n_2 – параметры эмпирической формулы, определяемые одним комплексным фактором, характеризующим геометрию подводной части плота.

Для вычисления указанных параметров предложены также эмпирические формулы

$$n_1 = 0,469 \frac{B}{\sqrt[3]{BLT} \rho_{л}/\rho} - 0,369; \quad (11)$$

$$n_2 = 0,564 \frac{B}{\sqrt[3]{BLT} \rho_{л}/\rho} + 0,648, \quad (12)$$

где B, L, T – ширина, длина и осадка плота соответственно;

$\rho, \rho_{л}$ – плотности воды и лесоматериалов.

Коэффициенты корреляции для модели (11) 0,86, для (12) – 0,79 [4]. Простей-

ший расчет позволил установить, что достоверность аппроксимации R^2 здесь довольно низкая, по крайней мере для технических расчетов, особенно если учесть, что это однофакторные зависимости. В первом случае она составила 0,74, во втором – 0,68. Заметим, что успешность попыток охарактеризовать форму подводной части ЛТЕ одним пусть даже комплексным фактором, на наш взгляд, в большинстве случаев маловероятна. Полагаем, что для характеристики указанной формы целесообразно использовать как минимум две величины, например – относительную ширину B/T и относительную длину L/T .

Очевидно, что низкая точность вычислений n_1 и n_2 уже предполагает низкую точность результатов, получаемых с помощью формулы (10). В дополнение к этому на указанной точности негативно сказываются множественные аппроксимации, выполняемые при получении зависимости (10). Наряду с аппроксимациями, связанными с выражениями (11), (12), непосредственно с формулой (10) следует учесть и те, которые осуществляют при вычислении мгновенных значений коэффициента нестационарности n по экспериментальным данным. При этом использовали уравнение, полученное из формулы (1)

$$n = \frac{F - R}{M dv/dt} - 1. \quad (13)$$

Поскольку при опытах на осциллограмме регистрировались отметки времени и пути, то для получения, например, мгновенных значений ускорения dv/dt в данном случае нельзя было обойтись без аппроксимации экспериментальных данных и дифференцирования полученных зависимостей. Стремление на заключительном этапе разгона числителя и dv/dt в знаменателе выражения (13) к нулю предполагает дополнительное снижение точности результатов. Автор не приводит никаких статистических характеристик для эмпирической формулы (10). Однако представленные в работе [4] графики подтверждают изложенные выше суждения о низкой точности расчетов, выполняемых по указанной формуле. По представленной информации можно также сделать вывод о довольно

высокой трудоемкости обработки экспериментальных данных. Указанные недостатки характерны и для других работ, например [6], тех авторов, которые строго следовали положениям анализируемого метода.

Отметим, что подстановка в формулу (13) при вычислении n на место R аппроксимирующего выражения av^b и допущение неравенства b двум приводит к противоречию с зависимостью (3), а значит и с теми формулами, которые были получены с ее учетом в результате решения дифференциального уравнения (1).

Проблемы с получением более точных моделей для n заложены в самом методе. Как уже было отмечено, даже при простейшей линейной модели с минимальным количеством определяющих факторов при подстановке ее в дифференциальное уравнение (1) его решение существенно усложняется. Полученные в результате выражения становятся более громоздкими. Даже незначительное усложнение модели для n с целью повышения ее точности ставит под сомнение возможность аналитического решения указанного дифференциального уравнения.

Получение достаточно точной модели для n , а следовательно и для Φ , в общем случае прежде всего предполагает учет значительного количества определяющих факторов. Опираясь на положения гидромеханики [7], теории размерностей и подобия [8], мы получили в символьном виде зависимость n от безразмерных факторов, которые теоретически могут быть значимыми при разгоне ЛТЕ в воде постоянной силой в неспецифичных условиях. Учитывая ограничения по объему статьи, мы приводим здесь лишь итоговое выражение

$$n = f(B/T, L/T, Fr, Sh), \quad (14)$$

где Fr – число Фруда;

Sh – число Струхала.

При особых условиях предполагается наличие и других определяющих факторов в зависимости (14). Например, при близости дна закономерно включение в перечень определяющих факторов глубины, отнесенной к осадке ЛТЕ – h/T .

В данном случае через число Фруда учитывается усилие F , под воздействием которого осуществляется разгон. Совместно с другими факторами зависимости (14) усилие F согласно выражению (4) определяет величину v_F , с которой и связано число Фруда

$$Fr = v_F / \sqrt{gT}, \quad (15)$$

где g – ускорение свободного падения.

В работе [4] на основе анализа экспериментальных данных отмечается «отсутствие строгой зависимости коэффициента n от конечной скорости разгона». Поскольку скорость v_F зависит от усилия F , то фактически утверждается, что F не влияет на n . Однако, согласно положениям гидромеханики, n зависит от ускорения [7]. Величина F несомненно влияет на интенсивность разгона ЛТЕ, следовательно и на ее ускорение. Учитывая это противоречие, мы не отрицаем процитированный факт, но считаем необходимым в каждом подобном исследовании обязательно анализировать зависимость n от соответствующего числа Фруда.

Число Струхала, приведенное в зависимости (14), определяется по формуле

$$Sh = \frac{T}{vt}. \quad (16)$$

Его можно назвать безразмерным временем, которое здесь характеризует степень завершенности процесса разгона. Отметим, что ее можно характеризовать и относительной скоростью v/v_F , которая меняется при разгоне в диапазоне $[0, 1]$. В данном случае это гораздо удобнее, что становится более очевидным, если учесть структуру формул (8), (9).

При значимости большинства отмеченных факторов, а тем более при введении дополнительных в специфических условиях практически нереально получение простой и достаточно точной модели для n , которую можно было бы подставить в дифференциальное уравнение (1) и затем получить его аналитическое решение. То есть метод, описанный в работе [4], при этом использовать невозможно, предлагаемый здесь – вполне применим.

Согласно положениям, сопутствующим выражению (6), интервальный КФУМ Φ зависит от границ рассматриваемого интервала. Они могут быть определены как абсолютными значениями скорости v , так и относительными v_n/v_F и v_k/v_F . Значение Φ от этого не изменится. В наиболее типичных случаях разгона от $v_n = 0$ интервал движения фактически может быть задан величиной v_k/v_F . С учетом зависимости (14) и приведенных положений можем записать

$$\Phi = \gamma(B/T, L/T, Fr, v_k/v_F). \quad (17)$$

Установление величин B/T и L/T при реализации экспериментального плана не вызывает вопросов. Определение значений Fr и v_k/v_F связано с использованием регистрирующей аппаратуры. В настоящее время на смену устройствам, фиксирующим отметки пути и времени движения буксируемого объекта, пришли более совершенные. В данном случае предпочтительна регистрация скорости. Для этого, в частности, может быть использован бесконтактный датчик оборотов ВС-401. Не вдаваясь в подробности, отметим, что он обеспечивает формирование импульсов с частотой, пропорциональной частоте прохождения тахометрических светоотражающих меток на вращающемся блоке, огибаемом нитью буксировочной системы. Сигналы от датчика проходят через дифференциальный усилитель ZET-410, аналого-цифровой преобразователь ZET-220 и поступают на компьютер. Запись и обработка сигналов реализуется с помощью программного обеспечения «ZETLAB». Для представления регистрируемой информации в более удобном для восприятия виде, в частности для перехода от частоты вращения указанного блока к линейной скорости буксируемого объекта, используется специально написанный в «MS Office Excel» макрос, строящий график зависимости упомянутой скорости от времени и формирующий при этом соответствующую графику таблицу. Пример такого графика уменьшенного размера представлен на рисунке.

Если полученный график представляет собой плавно изменяющуюся линию, подобную приведенной на рисунке, то предпо-

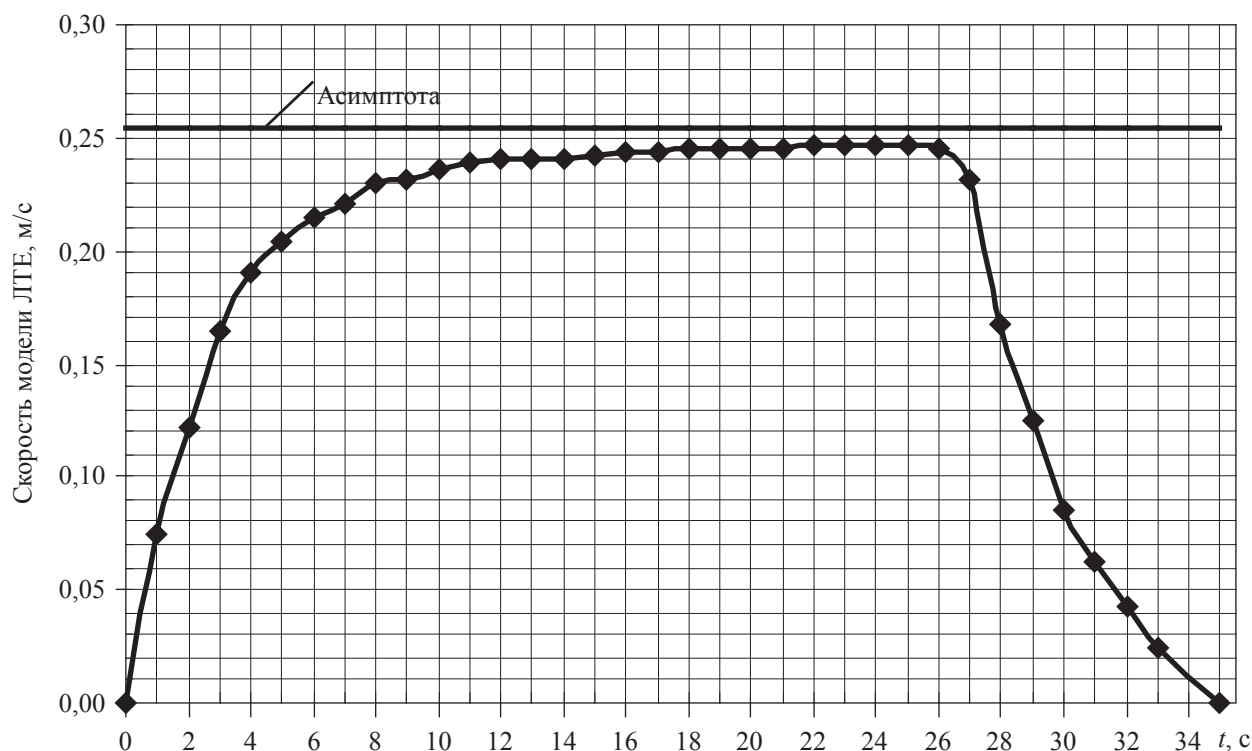


Рисунок. График зависимости скорости движения модели ЛТЕ от времени
 Figure. Graph of a TRU model velocity dependence on duration

лагается установление необходимых данных непосредственно по ней. При наличии на графике некоторых скачкообразных изменений рекомендуется сглаживание кривой посредством аппроксимации, которую при однофакторной зависимости сейчас легко можно реализовать средствами самых доступных программных продуктов. При сглаживании учитывается общая тенденция, а не только ближайшие точки.

Анализируя формулу (8) отметили, что при конечной скорости разгона $v_k = v_F$ отношение $v_k/v_F = 1$, при этом $arth1$ соответственно t стремятся к бесконечности. То есть при разгоне постоянной силой F скорость ЛТЕ асимптотически приближается к скорости равномерного движения, соответствующей тяговому усилию F . Это подтверждается и экспериментально (рис. 1). Установить скорость v_F , соответствующую асимптоте, по фактическим экспериментальным данным можно, воспользовавшись выражением, приведенным в работе [4]

$$v_F = \frac{v_1 v_3 - v_2^2}{v_1 + v_3 - 2v_2}, \quad (18)$$

где v_1, v_2, v_3 – скорости на участке графика, приближенном к асимптоте, определяемые по порядку через равные интервалы времени.

Скорость v_3 предшествует началу торможения. При сглаживании экспериментального графика аппроксимирующей зависимостью $v(t)$, предполагающей наличие горизонтальной асимптоты, скорость v_F может быть установлена как предел [11]

$$v_F = \lim_{t \rightarrow \infty} v(t). \quad (19)$$

По установленной v_F с помощью формулы (15) определяют соответствующее число Фруда. Рекомендуются диапазон варьирования фактора v_k/v_F в выражении (17) 0,00–0,97. Шаг варьирования принимают с учетом требуемой точности результатов. Заметим, что величина шага не сказывается на количестве необходимых опытов. Полагаем, что вполне приемлем следующий набор значений v_k/v_F 0,00; 0,10; 0,20; ...; 0,90; 0,97. По величине v_F и каждому значению v_k/v_F определяют соответствующие v_k , а по ним с помощью упомянутого графика – соответству-

ющие t . Для каждой пары v_k/v_F и t по формуле (9) вычисляют Φ . После обработки всех данных эксперимента с помощью множественного регрессионного анализа [9, 12] зависимость (17) получают в явном виде.

Другим характерным случаем неравномерного движения ЛТЕ в воде является торможение ее постоянной внешней силой при отсутствии течения. Аналог этого случая – подобное торможение при наличии течения с замедлением движения ЛТЕ относительно потока. При использовании дифференциального уравнения (2) для указанных условий перед F должен стоять знак минус. Здесь также воспользовались подстановкой вместо R и F правых частей формул (3) и (4). Разделив переменные, получили

$$t = -\frac{M}{r} \int \phi_T \frac{dv}{v_F^2 + v^2}, \quad (20)$$

где ϕ_T – КФУМ ЛТЕ при торможении ее постоянной силой.

Учитывая эту формулу и опираясь на положения аналогичные тем, что сопутствуют выражению (5), записали

$$t = -\Phi_T \frac{M}{r} \int_{v_n}^{v_k} \frac{dv}{v_F^2 + v^2}, \quad (21)$$

где Φ_T – интервальный КФУМ ЛТЕ при ее торможении постоянной силой.

Выполнив интегрирование, получили

$$t = \Phi_T \frac{M}{r v_F} \left(\text{arc tg } \frac{v_n}{v_F} - \text{arc tg } \frac{v_k}{v_F} \right). \quad (22)$$

С помощью этой формулы можно рассчитать время, за которое под воздействием внешней тормозящей силы F относительная скорость ЛТЕ уменьшится от значения v_n до v_k . Сила F здесь также учтена через скорость v_F , их связь отражена зависимостью (4). Выразив из уравнения (22) Φ_T , получили формулу, которую можно использовать для экспериментального определения этого коэффициента

$$\Phi_T = \frac{r v_F}{M \left(\text{arc tg}(v_n/v_F) - \text{arc tg}(v_k/v_F) \right)} t. \quad (23)$$

Перечень факторов, которые в неспецифических условиях теоретически могут

оказывать влияние на величину Φ_T несколько шире, чем в зависимости (14). Φ_T так же как и Φ зависит от геометрических параметров B/T и L/T , от степени завершенности процесса торможения, характеризуемой отношением конечной скорости к скорости перед торможением v_k/v_n . Величина усилия F сказывается на интенсивности торможения, то есть на ускорении, следовательно, влияет на Φ_T . По аналогии с разгоняющим усилием тормозящее при приведении решения к безразмерному виду учли через число Фруда Fr_1 , определяемое по скорости равномерного движения v_F , соответствующей силе тяги F . Предполагается, что Φ_T зависит и от относительной скорости v_n , с которой начинается торможение. По ней определяется число Фруда Fr_2 , которое здесь также входит в перечень безразмерных определяющих факторов. С учетом изложенного записали

$$\Phi_T = \gamma_T(B/T, L/T, Fr_1, Fr_2, v_k/v_n). \quad (24)$$

Отметим, что в работе [4] при исследованиях торможения ЛТЕ о влиянии F , а также v_n на величину n нет никакой информации. Геометрия подводной части ЛТЕ также характеризуется только одним, хотя и комплексным безразмерным параметром, что, как было отмечено ранее, не могло не сказаться на точности результатов. Судя по графическим материалам зависимость n от v/v_F при значительном разбросе экспериментальных величин близка к квадратичной с минимумом в области средних значений v/v_F . При этом автор отмечает, что надлежащая аппроксимация экспериментальных данных предполагает усложнение модели, а это приведет к проблемам с решением дифференциального уравнения. Неявно он также признает, что используемые им зависимости от геометрических характеристик моделей плотов имеют недостаточную точность и потому упомянутая выше надлежащая аппроксимация не имеет смысла. В итоге автор предельно упрощает задачу. Для определения n при торможении плота предлагается формула, в которой учитывается только один фактор – безразмерная комплексная геометрическая характеристика ЛТЕ. Коэффициент n при этом является ве-

личиной, не изменяющейся в процессе торможения и не зависящей ни от чего, кроме указанной геометрической характеристики плота. Определяется n как средневзвешенная величина для полного торможения от начальной скорости до нулевой, а в дальнейшем используется и для частичного торможения, что, разумеется, некорректно.

Допускаем, что отдельные факторы в выражении (24) могут оказаться незначимыми в конкретном исследовании. Однако для установления этого в каждом случае требуется экспериментальная проверка.

При обработке экспериментальных данных по графику (рисунок) определяют v_n , с которой начинается торможение. Соответствующее ей Fr_2 вычисляют с помощью выражения (15). Его же используют при вычислении Fr_1 по скорости v_F , соответствующей F , которую выражают из формулы (4). Диапазон варьирования v_k/v_n здесь 0–1. Шаг этого варьирования назначают в соответствии с желаемой точностью результатов. Он может быть принят, например, 0,1. Для рассматриваемых значений v_k/v_n по установленной v_n вычисляют соответствующие v_k . По графику (рисунок) для каждого значения v_k определяют t . С помощью формулы (23) для полученных сочетаний v_k/v_n и t вычисляют значения Φ_T . После завершения описанных действий зависимость (24) представляют в виде регрессионной модели [9, 12].

Знание Φ и Φ_T , определяемых с помощью моделей, соответствующих зависимостям (17), (24), позволяет рассчитать время разгона и торможения ЛТЕ при заданных условиях с помощью формул (8), (22). В ходе дальнейшего решения дифференциального уравнения (2) получены формулы для определения других величин, связанных с неравномерным движением ЛТЕ, таких как путь, скорость, ускорение, требуемое усилие. При вычислении этих величин также используются интервальные КФУМ. В ряде расчетов предпочтительно, чтобы степень завершенности процесса разгона или торможения в модели КФУМ характеризовалась безразмерным временем или безразмерным перемещением вместо безразмерной скорости. Полу-

чение таких моделей не требует проведения дополнительных опытов. Алгоритм действий по созданию этих моделей не имеет принципиальных отличий от описанного. В связи с изложенными здесь фактами и ограниченностью объема статьи упомянутые в абзаце материалы в данной работе не приводятся.

Заключение

Описанный в статье метод экспериментального определения КФУМ ЛТЕ при их разгоне и торможении в воде позволяет при снижении трудоемкости обработки экспериментальных данных обеспечить получение более точных моделей для означенного коэффициента, возможность применения для расчета параметров движения достаточно универсальных аналитических формул, наглядно отражающих физическую сущность явлений.

Библиографический список

1. Войткунский, Я.И. Сопротивление движению судов / Я.И. Войткунский. – 2-е изд., доп. и перераб. – Л. : Судостроение, 1988. – 288 с.
2. Чекалкин, К.А. Движение твердых тел в жидкости / К.А. Чекалкин. – Л. : изд. ЛТА, 1981. – 48 с.
3. Харитонов, В.Я. Использование теории присоединенных масс в лесосплавных исследованиях и расчетах / В.Я. Харитонов // Изв. ВУЗов. Лесной журнал. – 1984. – № 5. – С. 43–48.
4. Митрофанов, А.А. Лесосплав. Новые технологии, научное и техническое обеспечение: моногр. / А.А. Митрофанов. – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2007. – 492 с.
5. Овчинников, М.М. Сопротивление движению хлыстовых плотов / М.М. Овчинников, П.М. Родионов // Лесная промышленность. – 1979. – № 6. – С. 28–29.
6. Ватлина, Я.В. Результаты исследования сопротивления воды движению лесотранспортных единиц / Я.В. Ватлина, Г.Я. Суров // Изв. ВУЗов. Лесной журнал. – 2014. – № 2. – С. 52–60.
7. Войткунский, Я.И. Гидромеханика / Я.И. Войткунский, Ю.И. Фадеев, К.К. Федяевский. – Л. : Судостроение, 1982. – 568 с.
8. Родионов, П.М. Метод подобия и его применение к решению задач лесосплава / П.М. Родионов. – Л.: ЛТА, 1982. – 84 с.
9. Пижурин, А.А. Основы научных исследований в деревообработке : учеб. для студ. вузов / А.А. Пижурин. – М.: МГУЛ, 2005. – 305 с.
10. Larsson L., Stern F., Visonneau M. Numerical ship hydrodynamics. Springer Netherlands, 2014.
11. Whittaker E.T., Watson G.N. A Course in Modern Analysis, 4th ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009. 620 p.
12. Weisberg S. Applied Linear Regression: Third edition. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. 329 p.

EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE IMAGINARY COEFFICIENT OF A MASS INCREMENT OF A TIMBER RAFTING UNIT DURING NON-STATIONARY MOTION IN WATER

Posypanov S.V., Assoc. Prof. NARFU, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾

s.posypanov@narfu.ru

⁽¹⁾Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov (NARFU), nab. Severnoy Dviny, 17, 163002, Arkhangelsk, Russia

The Development of the new designs of the timber rafting units (TRU) for an economical and eco-friendly transportation of logs along small and medium-size rivers as an alternative for prohibited loose floating is activated nowadays. In order to provide an opportunity of practical valuations concerning the TRU the investigations of their motion in water, including non-stationary, are performed. The existing techniques of a non-stationary motion have a potential for upgrading. The paper introduces the coefficient of imaginary mass increment (CIMI) of TRU which is bound to known coefficient of non-stationarity considering hydrodynamic water resistance and a mass portion of water filling up the hollows of a TRU. A method of a CIMI experimental determination, allowing correct acquisition of its models or non-stationarity coefficient, is proposed. It is demonstrated that instead of an alternating CIMI, the constant for the given case value depending on termination of acceleration or deceleration processes can be applied. This constant is nominated as an interval CIMI. Its value is determined based on a permanent relation between the parameters of motion. The formulas for the interval CIMI computation, based on a differential equation describing non-stationary motion of a TRU in water, are put forward. A short list of the modern recording instruments and a software support providing derivation of the graphs and corresponding tables of a TRU velocity dependence on a motion duration are presented. The algorithm of the relevant necessary data for the graphs is put forward. The lists of the dimensionless factors which tend to be significant for the mathematic models of the interval CIMI in the cases of acceleration and deceleration is presented.

Keywords: timber rafting, timber transport unit, non-stationary motion, method, experiment, coefficient, water resistance.

References

1. Voytkunskiy Ya.I. *Soprotivleniye dvizheniyu sudov* [Resistance to vessels motion], L.: Sudostroyeniye, 1988, 288 p.
2. Chekalkin K.A. *Dvizheniye tverdykh tel v zhidkosti* [Motion of the solid bodies in a liquid medium], L.: LTA Publ., 1981, 48 p.
3. Kharitonov V.Ya. *Ispolsovaniye teorii prisoedinennykh mass v lesosplavnykh issledovaniyakh i raschetakh* [Application of a theory of conjoint masses in the studies and computations of timber floating] Bulletin of higher education institutions. Lesnoy Zhurnal, 1984, No. 5, pp. 42-48.
4. Mitrofanov A.A. *Lesosplav. Noviytehnologii, nauchnoye i tekhnicheskoye obespecheniye* [Timber floating. New technologies, scientific and technical provisions], Arkhangelsk: AGTU Publ., 2007, 492 p.
5. Ovchinnikov M.M. *Soprotivleniye dvizheniyu khlystovukh plotov* [Tractive resistance of the tree-long logs rafts], Moscow, Timber Industry, 1979, No. 6, pp. 28-29.
6. Vatlina Ya.V., SurovG.Ya. *Rezultaty issledovaniya soprotivleniya vody dvizheniyu lesotransportnykh yedinit* [The results of the water resistance to the timber transport units motion]. Bulletin of higher education institutions. Lesnoy Zhurnal, 2014, No. 2, pp. 52-60.
7. Voytkunskiy Ya.I. *Gidromekhanika* [Hydromechanics], Leningrad: Sudostroyeniye, 1982, 568 p.
8. Rodionov P.M. *Metod podobiya i yego primeneniye k resheniyu zadach lesosplava* [The resemblance method and its appliance to the problems of timber floating], Leningrad: LTA, 1982, 84 p.
9. Pizhurin A.A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Basis of scientific researches in woodworking], Moscow: MGUL, 2005, 305 p.
10. Larsson L., Stern F., Visonneau M. *Numerical ship hydrodynamics*. Springer Netherlands, 2014.
11. Whittaker E.T., Watson G.N. *A Course in Modern Analysis*, 4th ed. Cambridge, England: Cambridge University Press, 2009. 620 p.
12. Weisberg S. *Applied Linear Regression: Third edition*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2005. 329 p.

ЧИСЛЕННОЕ РЕШЕНИЕ ОДНОЙ СИСТЕМЫ ИНТЕГРО-ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ КАК СОПРЯЖЕННОЙ ЗАДАЧИА.Ю. ГАЛАКТИОНОВ, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽¹⁾

galakau@mail.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Представлены метод и научный инструмент решения одной системы интегро-дифференциальных уравнений радиационной газовой динамики. Сопряженная задача аэродинамики, термодинамики и лучистого теплообмена решена численно на ПЭВМ в химически и физически неравновесной постановке. Аэродинамические характеристики получены в рамках полных нестационарных уравнений Навье-Стокса в предположении о ламинарном характере течения. При исследовании сложного теплообмена были рассмотрены шесть оптических полос. Для определения интенсивности излучения из контрольного объема применена термически-неравновесная модель Г. Н. Залогина, с учетом члена, связанного с фото-возбуждением. Воздух рассматривался как одиннадцати компонентная смесь газов с математическим моделированием неравновесных процессов изменения внутренней колебательной энергии молекулярных образований. Согласно подходу Н.А. Анфимова было выделено 200 спектральных интервалов. Показана возможность получения как качественных, так и количественных оптических характеристик в окрестности небесных тел различного происхождения (метеоры, кометы, метеориты, аппараты-демонстраторы и т. д.), необходимые для дистанционных аэрофизических измерений. Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением с экспериментальными и численными данными различных авторов.

Ключевые слова: Уравнения Навье-Стокса, сложный теплообмен, численные методы, сопряженная задача, спектроскопия.

Представлены метод и научный инструмент решения одной системы интегро-дифференциальных уравнений радиационной газовой динамики. Сопряженная задача аэродинамики, термодинамики и лучистого теплообмена решена численно на ПЭВМ в химически и физически неравновесной постановке. Показана возможность получения как качественных, так и количественных оптических характеристик в окрестности небесных тел различного происхождения (метеоры, кометы, метеориты, аппараты-демонстраторы и т. д.), необходимые для дистанционных аэрофизических измерений. Достоверность полученных результатов подтверждена сравнением с экспериментальными и численными данными различных авторов.

В настоящее время решение как отдельных интегро-дифференциальных уравнений, так и их систем в отличие от дифференциальных и интегральных уравнений связано с отдельными задачами [1–5] и нередко требует от исследователей-математиков априорных знаний предмета в физической стороне вопроса.

В то же время исторические потребители решений интегро-дифференциальных уравнений: аэрофотометрия и аэробаллисти-

ка небесных тел (болидов, метеоров, комет и т. д. и летательных аппаратов-демонстраторов (типа Fire-II)) часто вынуждены использовать интегральные по спектру или по расстоянию характеристики лучистого теплообмена для обеспечения соответствующих измерений и теоретических расчетов. Достаточно отметить работы [5, 6], где представлены оценки аэродинамических характеристик (например граница ламинарно-турбулентного перехода) и баллистических характеристик (например баллистический коэффициент), связанных с интенсивностью (яркостью) излучения ударного слоя в окрестности небесного тела.

Учитывая, что в задаче математического моделирования движения небесного тела в атмосфере (рис. 1) крайне желательно иметь распределенные характеристики, например, интенсивность излучения в оптической полосе $NO(\beta)$ на одной из частот в различных местах в окрестности небесного тела (рис. 2) в настоящей работе рассмотрено численное решение физически сопряженной задачи радиационной аэродинамики (в рамках полных уравнений Навье-Стокса) и сложного лучистого теплообмена с математическим моделированием неравновесных химических реакций, возбуж-

дения колебательных степеней свободы молекул и неравновесного высвечивания лучистой энергии, согласно модели Г.Н. Залогина [7].

Настоящая работа рассматривается как развитие отечественного научного задела в части решения сопряженных задач радиационной аэродинамики [5, 7–9], так и методов зарубежных авторов [3, 8].

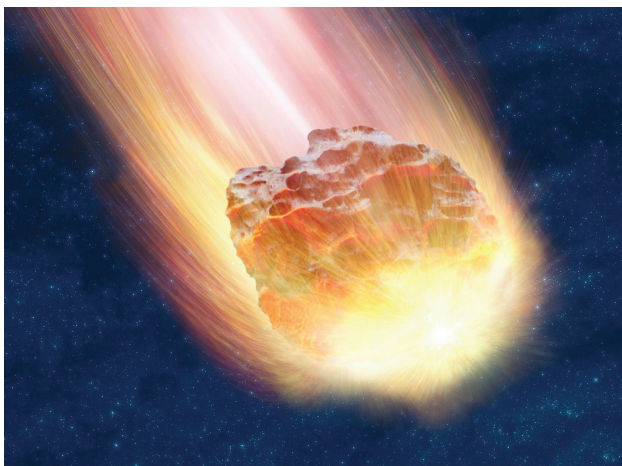


Рис. 1. Фотоснимок полета метеорного тела в атмосфере Земли

Fig. 1. Photograph of the meteoroid flight in Earth's atmosphere

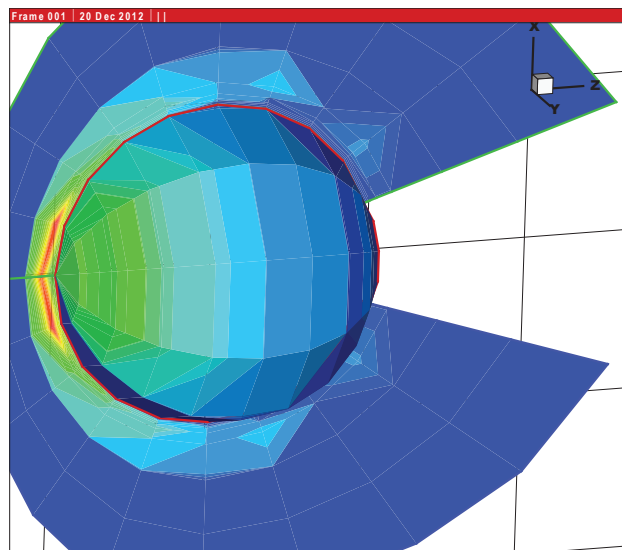


Рис. 2. Области равной интенсивности излучения в оптической полосе $NO(\beta)$ отмеченные цветом, полученные в результате численного решения полных уравнений Навье-Стокса при числе Маха $M_\infty = 20$

Fig. 2. The areas of equal intensity of radiation in the optical band $NO(\beta)$ marked with color, obtained as a result of numerical solution of the full Navier-Stokes equations at Mach $M_\infty = 20$

Целью настоящей работы стала демонстрация возможностей схемы и идеи метода решения системы интегро-дифференциальных уравнений как инструмента определения качественных и количественных характеристик сложного теплообмена и аэродинамики небесных тел.

Результаты иллюстрируются на модели обтекания сферы гиперзвуковым потоком (рис. 2), а достоверность полученных данных подтверждается сравнением с опубликованными результатами других авторов [3, 10–12], а также сходимостью результатов настоящих численных расчетов по времени.

Постановка задачи. Объектом настоящего исследования стала трехмерная сферическая модель небесного тела, а предметом исследования ее аэродинамические характеристики (коэффициент силы лобового сопротивления (C_{xa}), распределение давления и температуры) и характеристики лучистого теплообмена (интенсивность излучения I , и т. д.). Расчеты проводились для условий сверхзвукового и гиперзвукового полета.

Определение аэродинамических характеристик и характеристик лучистого теплообмена рассматриваемой сопряженной задачи для упомянутого выше объекта исследования было проведено численно в пространственной (3D) постановке. Расчетная область (рис. 2) имела внутреннюю и внешнюю границы. Внутренняя граница – поверхность модели; внешняя граница состояла из двух эллипсоидов вращения, соответствующих передней и задней полусферам объекта исследования. Расчет распределенных характеристик гиперзвукового обтекания проводился на структурированной расчетной сетке, имевшей выделенную пристенную к поверхности модели область с мелким шагом для расчета течений с большими градиентами газодинамических функций.

В процессе математического моделирования на ЭВМ была решена сопряженная задача определения аэродинамических характеристик тела и лучистого теплообмена в его окрестности. Сопряжение аэродинамической и радиационной задач проводилось через уравнение энергии и соответствующие параметры течения (температура, концентрации

Параметры оптических полос
Options optical bands

	Система полос	Переход	Основная частота, см ⁻¹
NO	β-полоса	B ² Π → X ² Π	45 400
	γ-полоса	A ² Σ ⁺ → X ² Π	44 138
O ₂	Шумана-Рунге	B ² Σ _u ⁻ → X ³ Σ _g ⁻	49 363
N ₂ ⁺	Первая отрицательная (1-)	B ² Σ _u ⁻ → X ² Σ _g ⁻	25 566
N ₂	Вторая положительная (1+)	B ³ Π _g → A ³ Σ _u ⁺	9 557
N ₂	Вторая положительная (2+)	C ³ Π _u → B ³ Π _g	29 670

частиц для шести оптических полос (табл. 1), интенсивность излучения и т. д.).

Аэродинамическая задача решалась численно в рамках полных уравнений Навье-Стокса (1) в ламинарной постановке в предположении модели реального газа как развитие работ [13–14] с использованием соответствующих программных модулей из упомянутых программ. Воздух моделировался как одиннадцатикомпонентная смесь, с количественным определением концентрации каждой компоненты (O₂, N₂, NO, N, O, NO⁺, O₂⁺, N₂⁺, O⁺, N⁺ и e⁻) и колебательной энергии для молекул

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial F(U)}{\partial x} + \frac{\partial G(U)}{\partial y} + \frac{\partial H(U)}{\partial z} = S, \quad (1)$$

где

$$U = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho w \\ E \\ e_{vib} \\ c_i \end{pmatrix};$$

$$F(U) = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho u_2 + p + \Theta_{11} \\ \rho uv + \Theta_{21} \\ \rho uw + \Theta_{31} \\ u(E + p) + u(\Theta_{11} + \Theta_{21} + \Theta_{31}) \\ ue_{vib} \\ uc_i \end{pmatrix}; S = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ q_L \\ j_{vib} \\ j + D \end{pmatrix};$$

D – диффузионные члены [19];

j – источниковые члены от химических реакций [20] и дивергенция вектора лучистого потока [18];

Θ – компоненты тензора вязких напряжений [14];

$$j_{vib} = \frac{1}{\tau} ((e_{vib})_{eq} - e_{vib})$$

– источниковый член для колебательной энергии;

$$e = e_{vib} + \sum_i c_i h_m^i + c_v T$$

– внутренняя энергия единицы массы;

c_v – теплоемкость газа при постоянном объеме с учетом поступательных и вращательных степеней свободы.

Система уравнений (1) замыкалась уравнением состояния (2) и соотношениями для молекулярной вязкости, теплопроводности и коэффициентов диффузии, следуя работам [8].

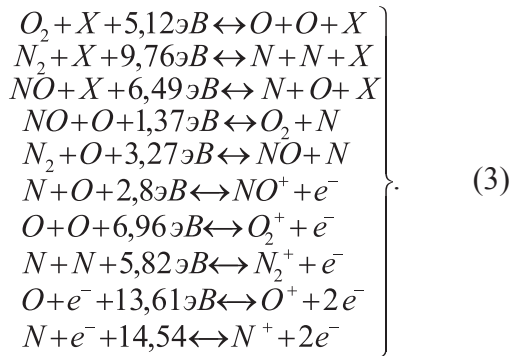
$$p = \rho \bar{R} T, \quad (2)$$

где $\bar{R} = R / M$, *R* – универсальная газовая постоянная.

Источниковые члены в уравнениях для концентраций одиннадцати компонент воздуха определялись по закону действующих масс с моделированием пяти химических реакций диссоциации, пяти реакций ионизации (3), условия сохранения заряда и замыкающего условия $\sum c_i = 1$.

В качестве граничного условия на поверхности тела было принято условие прилипания для трех компонент вектора скорости и условие равенства нулю нормальной производной для вектора концентраций компонент воздуха. Константы скоростей прямой и обратной реакции диссоциации были определены по зависимостям работы [21], константы равновесия по зависимостям из работы [22]. Константы для реакций ассоциативной ионизации были определены по зависимостям, рекомендованным в работе [23], а для реакций ионизации электронным

ударом необходимые константы были взяты из работы [17].



Значение равновесной колебательной энергии и времени релаксации для колебательной степени свободы определялось из выражения

$$\left. \begin{aligned} (e_{vib})_{eq} &= \frac{hvR/k}{\exp(hv/kT-1)} \\ \tau &= a^* \exp(-bT^{1/3}) \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где h – постоянная Планка;
 k – постоянная Больцмана;
 R – универсальная газовая постоянная;
 v – характеристическая колебательная температура.

Коэффициенты a , b для молекул кислорода и азота были получены по данным Блэкмена [18].

С целью количественной оценки интенсивности излучения воздуха для шести оптических полос (табл. 1) были определены соответствующие значения локально-равновесных заселенностей элементов (концентрации молекул и ионов n_e^*) и их неравновесные значения (n^*). Значение плотности заселенности соответствующих частиц было определено с использованием функции Больцмана [16]

$$n_j = n_0 (g_j/g_0) \exp(-\varepsilon_j/T)$$

где n_0 – устанавливалось в процессе численного решения системы уравнений (1).

Зная значения локально-равновесных заселенностей, определили соответствующие неравновесные значения, согласно модели Г.Н. Залогина

$$\rho \frac{dn^*}{dt} = \frac{n_e^* - n^*}{\tau_c} - \frac{n^*}{\tau_T} + CnI. \quad (5)$$

Ранее [7–9] последний член в этом соотношении, связанный с фотовозбуждением [26], опускался, так как требовал решения

совместной системы интегро-дифференциальных уравнений.

Неравновесные значения заселенностей соответствующих частиц были необходимы как для расчета эффективного сечения поглощения (коэффициента поглощения), так и для определения интенсивности излучения отмеченных выше оптических полос и, следовательно, источников членов в системе уравнений (1).

Зная неравновесные значения заселенностей (n^*) соответствующих частиц, можно определить спектральную интенсивность и мощность излучения [25]

$$q(\lambda) = h\lambda n^* a(\lambda),$$

где $a(\lambda)$ – спектральная плотность первого коэффициента Эйнштейна.

В основу расчета задачи лучистого теплообмена было положено уравнение переноса лучистой энергии (изменение лучистой энергии) для соответствующей частоты и соответствующей оптической полосы.

$$dI_\lambda/ds = -I_\lambda a_\nu + I_{b\lambda} a_\nu, \quad (6)$$

где a_λ – спектральный коэффициент поглощения.

Знание интенсивности излучения и соответствующих коэффициентов поглощения позволило определить величину источника члена уравнения энергии (1) как четырехкратный интеграл в общем случае задачи

$$q_L = \int_{\lambda=0}^{\infty} \int_{\beta=0}^{\pi/2} \int_{\tilde{t}=s_0}^s I_{b\lambda}(\tilde{t}) \exp[\tilde{t} - \int_{s_0}^s a(z) dz] \sin \beta \cos \beta d\tilde{t} d\beta d\lambda.$$

Процесс определения источников членов в уравнении (1), а также значений интенсивности излучения (через уравнение переноса для каждой частоты и оптической полосы), коэффициентов поглощения и члена фотовозбуждения в соотношении (5) определил интегральную составляющую в системе интегро-дифференциальных уравнений, описывающей рассматриваемую физически сопряженную задачу.

Учитывая сложность (в первую очередь вычислительную) рассматриваемой задачи и необходимость адаптации к методу конечного объема, согласно работам [3–17] в настоящем исследовании был применен метод потоков

излучения. Согласно предложению [3], излучение, падающее на контрольный объем (элементарную ячейку расчетной области – элемент расчетной сетки), описывается шестью потоками, которые рассчитываются через параметры соседних (ближайших) контрольных объемов. Это предположение позволило существенно сократить размеры области интегрирования, сохранив основные интегральные черты решаемой сопряженной задачи [3].

Численный метод расчета. Система уравнений течения вязкого многокомпонентного реагирующего газа (1) решалась численно установлением по времени. Соответствующие приращения – невязки для каждого контрольного объема (узла расчетной сетки) определялись суммированием потоков по шести граням контрольного объема [13, 14]. Потоки через каждую грань расщеплялись на потоки от вязких и невязких членов. Потоки от невязких членов рассчитывались методом Годунова-Колгана второго порядка точности по времени [13]. Потоки от вязких членов были определены согласно методу, описанному в работе [13].

Источниковый член в системе уравнений (1) определялся как сумма потоков лучистой энергии q_r через грани контрольного объема. Лучистый поток через каждую грань рассчитывался для каждой из шести оптических полос. Согласно работе [1], для определения лучистого потока через грань предварительно рассчитывалась спектральная интенсивность излучения I_λ для интервала частот от 0,05 до 2 мкм с выделением $N_\lambda = 200$ – спектральных интервалов. Величины спектрального интервала Δ_λ была принята равной 0,005 мкм при $\lambda = 0,05-0,2$ мкм, 0,01 мкм при $\lambda = 0,21-0,59$ и 0,02 при $\lambda = 0,62-1,54$ и ,04 при $\lambda = 1,57-1,97$.

Такой подход позволили воспользоваться уравнением переноса лучистой энергии в виде [3]

$$dI_\lambda = -I_\lambda a_\lambda ds + I_{b\lambda} ds,$$

которое после интегрирования по оптическому пути приняло вид

$$I(\tilde{k}) = I(\tilde{k}_0) \exp(\tilde{k}_0 - \tilde{k}) + \int_{\tilde{k}_0}^{\tilde{k}} I_{b\lambda}(\tilde{t}) \exp(\tilde{t} - \tilde{k}) d\tilde{t}, \quad (7)$$

где

$$\tilde{k}_\lambda = \int_{\tilde{k}_0}^{\tilde{k}} a_\lambda ds$$

Зная в расчетной области поле коэффициентов a_λ как результат решения уравнений Навье-Стокса для реагирующей среды, с учетом соответствующих полей температуры и концентраций методом трапеций были найдены интегралы оптического пути по трем точкам для каждой грани контрольного объема.

Согласно методу [3] потоков излучения, соотношение (7) рассматривалось для каждой грани контрольного объема (i, j, k) .

Численный расчет интеграла

$$Int_2 = \int_0^{k_0} I_b(k) \exp(k * -k_p) dk *$$

по известному полю спектрального коэффициента поглощения и полю температуры позволил представить интенсивность излучения для каждой грани как

$$I^E = I_i^E \exp(kp) + Int_2.$$

Плотность лучистого потока для каждой грани

$$\dot{q}_{cp} = \int_0^\pi I_p \sin 2\alpha d\alpha \approx 2I_{cp} = 2I_i^E \exp(-kp) + 2Int_2.$$

Результирующий поток излучения через грань определялся как

$$q_{cp} = S(\dot{q} - \ddot{q}).$$

Используя уравнения переноса лучистой энергии в дифференциальной форме $dI = I_b dk - Idk$ согласно схеме расчета для двумерного случая [3], было получено соотношение для расчета спектральной интенсивности излучения для каждой грани трехмерного контрольного объема по выбранному направлению

$$I_{E,i} = \{kpIb + I_{E,i+1} \exp(-kp_i) + Int_2^i - I_{E,i+2} \exp(-kp_{i+1})\} / \{\exp(-kp_{i+1}) - \exp(-kp_i)\}$$

Итогом решения задачи о лучистом теплообмене стало определение соответствующего источникового члена в системе уравнений (1)

$$q_L(i, j, k) = \sum_{ip} \sum_{isp} \sum_{ig} (I_E(i, j, k, ip, ig, isp) - I_W(i, j, k, ip, ig, isp)) \Delta(isp) S(i, j, k, ig)$$

где ip – номер оптической полосы;

ig – номер грани контрольного объема;

isp – номер спектрального интервала.

Температура на поверхности модели определялась и удерживалась в процессе численного решения из условия для температурного фактора $T_w = 0,3$, что позволило определить соответствующий лучистый тепловой поток

$$I = kI_b,$$

где

$$I_b(T) = \frac{2hv^3 / c^3}{\exp(hv / kT) - 1}.$$

Описанный выше численный метод решения сопряженной задачи радиационной газодинамики, позволяющий определять значения интенсивности излучения в неравновесной постановке с учетом эффектов фотовозбуждения, был реализован в виде программы для ПЭВМ. Достоверность полученных данных была подтверждена сходимостью результатов по времени и по расчетной сетке, а также сравнением с известными экспериментальными и расчетными зависимостями.

В табл. 2 представлены значения коэффициента силы лобового сопротивления от числа итераций для случая гиперзвукового обтекания с числом Маха $M_\infty = 20$. Здесь можно отметить сходимость процесса численного расчета с ростом математического времени и величину неточности (погрешность) определения соответствующего коэффициента менее 0,7 % начиная с 20 000.

В качестве теста для расчета суммарных аэродинамических характеристик исследуемого объекта были выполнены расчеты коэффициента продольной силы сферической модели (для сферы соответствует аэродинамическому коэффициенту силы лобового сопротивления). Результаты численных расчетов представлены в табл. 2 для чисел Маха набегающего потока от 4 до 20. Здесь же представлены соответствующие значения, полученные экспериментально в аэродинамических трубах (результаты работы [18] с величиной погрешности $\approx 5\%$). Учитывая, что суммарные аэродинамические характеристики объекта исследования согласуются с экспериментальными данными с точностью до 4 %, далее было проведено тестирование распределенных аэродинамических и оптических характеристик.

На рис. 3 представлены зависимости концентраций молекул кислорода и оксида азота от расстояния за ударной волной. Зависимости получены численным решением полных уравнений Навье-Стокса по описанной выше схеме и численным решением упрощенной задачи в рамках модели вязкого удар-

ного слоя, полученного в работе [8]. Хорошее согласование концентраций на рассматриваемом участке позволяет сказать о корректном решении химически неравновесной задачи, что необходимо в качестве первого шага расчета интенсивности неравновесного излучения соответствующих оптических полос.

Непосредственный численный расчет интенсивности излучения в ударном слое позволил получить зависимость интенсивности для всех шести молекулярных оптических полос. На рис. 4 приведены зависимости интенсивности излучения молекулярного азота по длине описанного выше ударного слоя. За эталон сравнения принята расчетная зависимость из работы [8]. Хорошее согласование точек зависимостей на рис. 4(а) позволяет сказать о возможности расчета по описанной выше программно-реализованной схеме интенсивности излучения.

Учитывая, что описанный в настоящей работе численный метод позволяет количественно определять значение спектральной интенсивности излучения для шести оптических полос, на рис. 4(б) представлены расчетная и экспериментальная [17] зависимости спектральной интенсивности излучения для β -полосы оксида азота. Участок спектра выбран в окрестности основной частоты β -полосы ($\nu = 45\,000\text{ см}^{-1}$), где в физических экспериментах наблюдалась максимальное значение спектральной интенсивности. Сравнение зависимостей на рис. 4(б) позволяет сказать о возможности расчета по представленному методу спектральной интенсивности излучения.

В качестве теста для оценки точности численного расчета переноса излучения была выбрана задача о сложном лучистом теплообмене, рассмотренная в работе [3]. Был рассмотрен прямоугольный объем, заполненный газом с постоянной температурой на границе, исключая прямоугольный участок на одной из граней, где температура была в два раза выше, чем на окружающих стенках. В процессе численного определения поля температур математически моделировались процессы теплопроводности и излучения. Результаты расчетов на сетках ($5 \times 5 \times 5$) полученные в работе [3] ($T_{[3]}$) и по описанной

Зависимости коэффициента лобового сопротивления сферы и математической погрешности от числа итераций (сходимость решения по математическому времени)
Dependence of the coefficient of drag and the scope of the mathematical error on the number of iterations
 (the convergence of the solutions of mathematical time)

<i>Nnn</i>	200	500	1000	10000	20000	40000	50000
<i>Cx_NS</i>	0,8	0,9	0,97305	0,97023	0,97014	0,97015	0,9701
<i>%Cx_NS_50000</i>	17,53	7,23	0,304	0,134	0,041	0,005	0

Расчетная и экспериментальная зависимости коэффициента лобового сопротивления сферы от числа Маха

Calculated and experimental dependences of the frontal resistance scope of the Mach number

<i>M</i>	4	6	8	10	12	14	16	18	20
<i>Cx_ADT±0,05</i>	1,094	1,002	0,983	0,978	0,9739	0,9721	0,9708	0,9702	0,9701
<i>Cx_NS</i>	1,073	0,98	0,96	0,95	0,94				

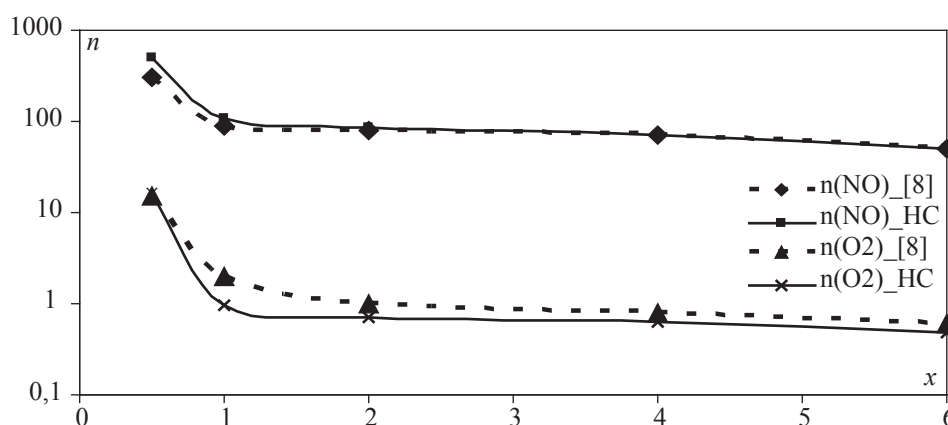


Рис. 3. Распределение концентраций NO и O₂ в ударном слое, полученные численным решением уравнений Навье-Стокса и в работе [8] (*V* = 7 км/с, *H* = 70 км, *R* = 1 м)

Fig. 3. Distribution of NO and O₂ concentrations in the shock layer, obtained by numerical solution of the Navier-Stokes equations and in [8] (*V* = 7 km / s, *H* = 70 km, *R* = 1 m)

схеме (ТТ), представлены в табл. 4 в качестве верификации на известной модельной задаче. Учитывая согласование упомянутых данных, приняли решение о работоспособности алгоритма расчета переноса лучистой энергии по описанной выше схеме.

Одним из результатов настоящей работы, иллюстрирующих возможности описанного выше метода, можно назвать зависимость (рис. 5) от длины рассматриваемого ударного слоя перед сферической моделью отношения концентраций положительного иона азота, находящегося в возбужденном состоянии, полученных с учета и без учета члена фотовозбуждения в соотношении (5).

Для корректного учета упомянутого члена фотовозбуждения необходимо проводить расчеты интенсивности излучения с моделированием переноса лучистой энергии, например по описанной выше схеме. Для рассматриваемой задачи неучет эффекта фотовозбуждения может привести к погрешности порядка 11 %, когда для более общих выводов необходимы самостоятельные параметрические исследования.

Выводы

Разработан численный метод решения сопряженной задачи радиационной газодинамики, позволяющий проводить количествен-

Расчетные зависимости распределения температуры между стенками
 Calculated according to the temperature distribution between the walls

t	1	2	3	4	5
$T_{[3]}$	2	1,5977	1,4476	1,296	1
TT	2	1,639	1,407	1,251	1

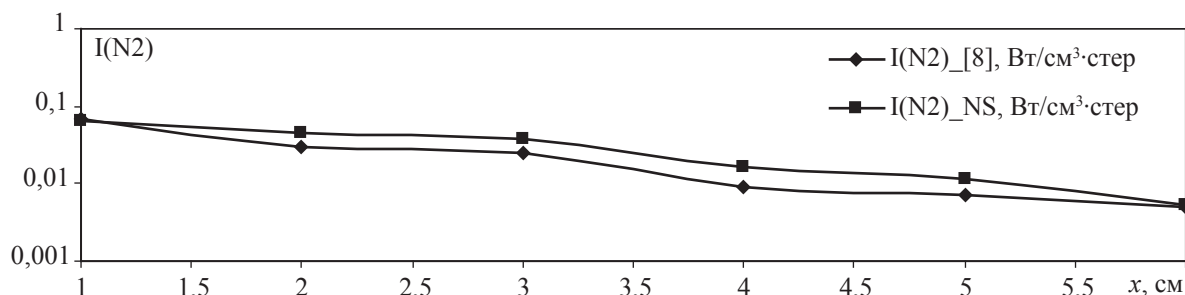


Рис. 4(а). Интенсивности излучения молекулярного азота в ударном слое, полученные численным решением уравнений Навье-Стокса и численным расчетом в приближенной постановке в работе [8] ($V = 7$ км/с, $H = 70$ км, $R = 1$ м)

Fig. 4(a). The intensity of the radiation of molecular nitrogen in the shock layer, obtained by numerical solution of the Navier-Stokes equations and numerical calculations in the statement in [8] ($V = 7$ km / s, $H = 70$ km, $R = 1$ m)

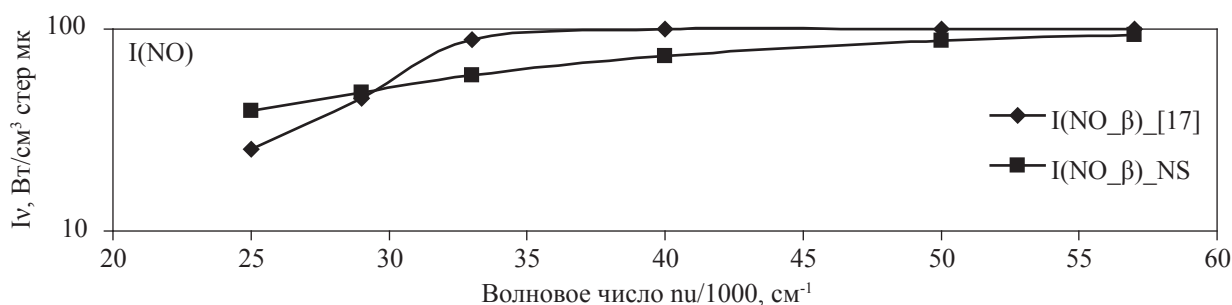


Рис. 4(б). Зависимости спектральной интенсивности излучения в полосе NO(β) от волнового числа, полученные численным решением уравнений Навье-Стокса и экспериментально [17] ($T = 6000$ К, $M_\infty = 20$)

Fig. 4 (b). Dependence of the spectral intensity of the radiation in the band NO(β) of the wave number, obtained by numerical solution of the Navier-Stokes equations, and experimentally [17] ($T = 6000$ K, $M_\infty = 20$)

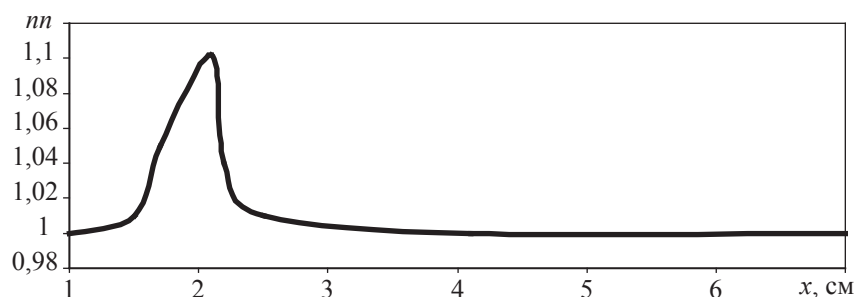


Рис. 5. Зависимость отношения концентраций N_2^+ в возбужденном состоянии с учетом и без учета эффекта фотовозбуждения по толщине ударного слоя, полученная численным решением полных уравнений Навье-Стокса ($V = 7$ км/с, $H = 70$ км, $R = 1$ м)

Fig. 5. The dependence of the excited state relations N_2^+ concentrations with and without consideration of the effect on the photoexcitation of the shock layer thickness obtained by numerical solution of the full Navier-Stokes equations ($V = 7$ km / s, $H = 70$ km, $R = 1$ m)

ные оценки состава компонент, и спектральной интенсивности излучения ударного слоя в окрестности небесного тела, совершающего полет в атмосфере Земли с первой космической скоростью. С использованием представленного метода, реализованного в виде программы для ПЭВМ, определены суммарные и распределенные аэродинамические и оптические характеристики, позволяющие сказать о возможности математического моделирования переноса лучистой энергии как решение системы интегро-дифференциальных уравнений. Рассмотренный подход дал возможность количественно оценить влияние фотовозбуждения на неравновесное значение заселенности частиц, необходимое для расчета интенсивности излучения шести молекулярных оптических полос воздуха.

Достоверность полученных данных подтверждена сравнением с известными расчетными и экспериментальными зависимостями.

В заключение считаю приятным долгом высказать слова благодарности д-ру техн. наук Г.Н. Залогину и отметить, что настоящая работа является развитием идей дистанционного зондирования атмосферы, высказанных в работе [27].

Библиографический список

- Смирнов, В.И. Курс высшей математики. IV том / В.И. Смирнов. – М.: ГИТТИ, 1957. – 812 с.
- Майкапара, Г.И. Неравновесные физико-химические процессы в аэродинамике / Г.И. Майкапара. – М.: Машиностроение, 1972. – 344 с.
- Ши, Д. Численные методы в задачах теплообмена / Д. Ши. – М.: Мир, 1988. – 544 с.
- Дж. Мартин. Вход в атмосферу. Введение в теорию и практику / Дж. Мартин. – М.: Мир, 1969. – 320 с.
- Анфимов, Н.А. Решение системы уравнений движения селективно излучающего газа в ударном слое / Н.А. Анфимов, В.П. Шари // Изв. АН СССР, МЖГ. – 1968. – № 3.
- Нестационарная аэродинамика баллистического полета / Ю.М. Липницкий, А.В. Красильщиков, А.Н. Покровский, В.Н. Шманенков. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 176 с.
- Залогин, Г.Н. Неравновесный эффект за ударной волной / Г.Н. Залогин, В.В. Лунев, Ю.А. Пластинин // Изв. АН СССР, МЖГ. – 1980. – № 1.
- НТО ЦНИИмаш № 8901-011189-1745-801. Методика расчета неравновесного излучения газовых смесей. Отв. исполнитель Г.Н. Залогин
- Галактионов, А.Ю. Гиперзвуковое обтекание боковой струи на конической поверхности с учетом ионизации и излучения / А.Ю. Галактионов // Космонавтика и ракетостроение. – № 1. – 2012.
- Бай Ши-и. Динамика излучающего газа / Бай Ши-и. – М.: Мир, 1968. – 324 с.
- Каменщиков, В.А. Радиационные свойства газов при высоких температурах / В.А. Каменщиков, Ю.А. Пластинин, В.М. Николаев, Л.А. Новицкий. – М.: Машиностроение, 1971. – 440 с.
- Петров, К.П. Аэродинамика тел простейшей формы / К.П. Петров. – М.: Факториал, 1998. – 432 с.
- Галактионов, А.Ю. Аэродинамические параметры отрывной зоны, возникающей при взаимодействии набегающего сверхзвукового потока с боковыми струями / А.Ю. Галактионов, В.Н. Шманенков // Космонавтика и ракетостроение. – 2008. – Вып. № 4(53). – С. 24–28.
- Галактионов, А.Ю. Гиперзвуковые особенности отрывного обтекания преград потоком реального газа / А.Ю. Галактионов // Космонавтика и ракетостроение. – № 1. – 2011.
- Смирнов, Б.М. Введение в физику плазмы / Б.М. Смирнов. – М.: Наука, 1982. – 224 с.
- S.V. Patankar and D.B. Spalding, Simultaneous Predictions of Flow Patterns and Radiation for Three-dimensional Flames, in N.H. Afgan and J.M. Beer (eds.) Heat Transfer in Flames, pp.73-94, Hemisphere, Washington, D.C., 1974.
- Дж. Мартин. Вход в атмосферу / Дж. Мартин. – М.: Мир, 1969. – 320 с.
- Петров, К.П. Аэродинамика тел простейшей формы / К.П. Петров. – М.: Факториал, 1998. – 432 с.
- Гиршфельдер, Дж. Молекулярная теория газов и жидкостей / Дж. Гиршфельдер, Ч. Кертисс, Р. Берд. – М.: ИЛ, 1961.
- Лунев, В.В. Течение реальных газов с большими скоростями / В.В. Лунев. – М.: Физматлит, 2007. – 760 с.
- Hilsenrath, J. and Klein, M. Tables of Thermodynamic Properties of Air in Chemical Equilibrium Including Second Virial Corrections from 1500° K to 15,000° K. Arnold Engineering Development Center, Rept. TDR-63-161, 1964.
- Lin S.C., Teare J.D., Rate of Ionization Behind Shock Waves in Air, II: Theoretical Interpretation, Physics of Fluids, 6, 355 (1963).
- Неравновесные физико-химические процессы в аэродинамике / Под ред. Г.И. Майкапара. – М.: Машиностроение. 1972. – 344 с.
- Блэкмен, В. Колебательная релаксация в кислороде и в азоте / В. Блэкмен // Газодинамика и теплообмен при наличии химических реакций. – М., ИЛ, 1962.
- Ландсберг, Г.С. Оптика // Г.С. Ландсберг. – М.: Физматлит, 2010. – 848 с.
- Зельдович, Я.Б. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений / Я.Б. Зельдович, Ю.П. Райзер. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 656 с.
- Анфимов, Н.А. Об измерении некоторых параметров атмосфер планет по излучению, сопровождающему полет спускаемых аппаратов на участке торможения / Н.А. Анфимов, Ю.А. Демьянов, Г.Н. Залогин, Ю.А. Пластинин и др. // МЖГ, – № 1. – 1981. – С. 36–45.

NUMERICAL SOLUTION THE INTEGRO-DIFFERENTIAL SYSTEM AS CONNECTED TASK

Galaktionov A.U., Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾

galakau@mail.ru

⁽¹⁾ Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch),
1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

Present the method and the scientific tool of the decision of one system of the integro-differential equations of radiating gas dynamics. The connected task of aerodynamics, chemistry and radiation of heat exchange is solved numerically in chemically and physically nonequilibrium statement. The aerodynamic characteristics are received within the framework of the complete non-stationary Navier-Stokes equations in the assumption for laminar character of current. At research of complex heat exchange six optical strips were considered. The термически-nonequilibrium model of is applied for definition of intensity of radiation from control volume. G.N. Zalogin, in view of the member connected to photo-excitation. Air was considered as eleven компонентная a mix of gases with mathematical modeling of nonequilibrium processes of change of internal oscillatory energy of molecular formations. According to the approach N.A. Anfimov 200 spectral intervals were allocated. The opportunity of reception both qualitative, and quantitative optical characteristics in a vicinity of heavenly bodies of a various origin (meteors, comets, meteorites, devices etc.), necessary for remote aerophysical measurements is shown. The reliability of the received results is confirmed by comparison with the experimental and numerical data of the various authors.

Keywords: the Navier-Stokes equations, Complex heat exchange, numerical methods connected task, spectral characteristics.

References

- Smirnov V.I. *Kurs vysshey matematiki* [Lecture of high mathematics]. T. IV, Moscow:GITTI, 1957, 812 p.
- Neravnesnye fiziko-khimicheskie protsessy v aerodinamike* [Nonequilibrium chemical processes in aerodynamics], Moscow: Mashinostroenie, 1972, 344 p.
- Shi D. *Chislennyye metody v zadachakh teploobmena* [Numerical methods in tasks of heat exchange], Moscow: Mir, 1988, 544 p.
- Martin Dzh. *Vkhod v atmosferu. Vvedenie v teoriyu i praktiku* [Reentry the Atmosphere], Moscow: Mir, 1969, 320 p.
- Anfimov N.A., Shari V.P. *Reshenie sistemy uravneniy dvizheniya selektivno izluchayushchego gaza v udarnom sloe* [The decision of system of the equations of movement of selectively radiating gas in a shock layer], *Izvestia RAN, Mekhanika Zhidkosti i Gaza*, 1968, № 3.
- Lipnitskiy Yu.M., Krasil'shchikov A.V., Pokrovskiy A.N., Shmanenkov V.N. *Nestatsionarnaya aerodinamika ballisticheskogo poleta* [Non-stationary aerodynamics of ballistic flight], Moscow: Fizmatlit, 2003, 176 p.
- Zalogin G.N., Lunev V.V., Plastinin Yu.A. *Neravnesnye fiziko-khimicheskie protsessy* [Nonequilibrium effect behind a shock wave], *Izvestia RAN, Mekhanika Zhidkosti i Gaza*, 1980, № 1.
- Zalogin G.N. *Metodika rascheta neravnesnogo izlucheniya gazovykh smesey* [Technique of account of nonequilibrium radiation of gas mixes], NTO TsNIIImash № 8901-011189-1745-801.
- Galaktionov A.Yu. *Giperzvukovoe obtekanie bokovoy strui na konicheskoy poverkhnosti s uchetom ionizatsii i izlucheniya* [Higher-sonic flow of side jet on the conic surface in view of ionization and radiation], *Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2012, № 1.
- Bay Shi-i. *Dinamika izluchayushchego gaza* [Dynamics of radiating gas]. Moscow: Mir, 1968, 324 p.
- Kamenshchikov V.A., Plastinin Yu.A., Nikolaev V.M., Novitskiy L.A. *Radiatsionnye svoystva gazov pri vysokikh temperaturakh* [Radiating properties of gases at high temperatures], Moscow: Mashinostroenie, 1971, 440 p.
- Petrov K.P. *Aerodinamika tel prosteyshyey formy* [Aerodynamics of simple body], Moscow: Faktorial, 1998, 432 p.
- Galaktionov A.Yu., Shmanenkov V.N. *Aerodinamicheskie parametry otryvnoy zony, voznikayushchey pri vzaimodeystvii nabegayushchego sverkhzvukovogo potoka s bokovymi struyami* [Aerodynamic parameters of separation zone of the supersonic flow with lateral jets]. *Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2008, V. № 4(53), pp. 24-28.
- Galaktionov A.Yu. *Giperzvukovyye osobennosti otryvnogo obtekaniya pregrad potokom real'nogo gaza* [High-sonic feature of separation before body by the flow of real gas], *Cosmonautics and Rocket Engineering*, 2011, № 1.
- Smirnov B.M. *Vvedenie v fiziku plazmy* [Introduction in physics of plasma], Moscow: Nauka, 1982, 224 p.
- Patankar S.V. and Spalding D.B. Simultaneous Predictions of Flow Patterns and Radiation for Three-dimensional Flames, in N.H. Afgan and J.M. Beer (eds.) *Heat Transfer in Flames*, pp.73-94, Hemisphere, Washington, D.C., 1974.
- Martin Dzh. *Vkhod v atmosferu* [Reentry the Atmosphere]. Moscow: Mir, 1969, 320 p.
- Petrov K.P. *Aerodinamika tel prosteyshyey formy* [Aerodynamic of simple objects], Moscow: Faktorial, 1998, 432 p.
- Girshfel'der Dzh., Kertiss Ch., Berd R. *Molekulyarnaya teoriya gazov i zhidkostey* [The molecular theory of gases and liquids], Moscow: IL, 1961.
- Lin S.C., Teare J.D., Rate of Ionization Behind Shock Waves in Air, II: Theoretical Interpretation, *Physics of Fluids*, 6, 355 (1963).
- Hilsenrath, J. and Klein, M. *Tables of Thermodynamic Properties of Air in Chemical Equilibrium Including Second Virial Corrections from 1500⁰ K to 15,000⁰ K*. Arnold Engineering Development Center, Rept. TDR-63-161, 1964.
- Lin S.C., Teare J.D., Rate of Ionization Behind Shock Waves in Air, II: Theoretical Interpretation, *Physics of Fluids*, 6, 355 (1963).
- Maykapara G.I. *Neravnesnye fiziko-khimicheskie protsessy v aerodinamike* [Nonequilibrium физико-chemical processes in aerodynamics], Moscow: Mashinostroenie, 1972, 344 p.
- Blekmen V. *Kolebatel'naya relaksatsiya v kislorode i v azote* [Oscillatory relaxation in oxygen and in nitrogen], *Gazodinamika i teploobmen pri nalichii khimicheskikh reaktsiy*. Moscow, IL, 1962.
- Landsberg G.S. *Optika* [Optics], Moscow: Fizmatlit, 2010, 848 p.
- Zel'dovich Ya.B., Rayzer Yu.P. *Fizika udarnykh voln i vysokotemperaturnykh gidrodinamicheskikh yavleniy* [Physics of shock waves and high-temperature hydrodynamical phenomena], Moscow:Fizmatlit, 2008, 656 p.
- Anfimov N.A., Dem'yanov Yu.A., Zalogin G.N., Plastinin Yu.A. i dr. *Ob izmerenii nekotorykh parametrov atmosfer planet po izlucheniyu, soprovozhdayushchemu polet spuskaemykh apparatov na uchastke tormozheniya* [About measurement of some parameters of atmospheres of planets on radiation accompanying flight of lowered devices on a site of braking]. *Izvestia RAN, Mekhanika Zhidkosti i Gaza*, 1981, № 1, p. 36-45.

ТЕМАТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА УЛЬТРАФИОЛЕТОВЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ

В.Ф. ДАВЫДОВ, *проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽¹⁾*,

А.В. СОБОЛЕВ, *доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽¹⁾*,

М.С. УСАЧЕВ, *ст. преподаватель МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. техн. наук⁽¹⁾*

asobolev@mgul.ac.ru, usachev@mgul.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал), 141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Достоверный прогноз землетрясений возможен, если измерять их ранние первопричины. Установлено, что одной из первопричин землетрясений является дегазация земной коры в результате механических напряжений. Накуну сейсмического удара в атмосфере над очагом подготавливаемого землетрясения возникает электростатическое поле напряженностью сотни кВ/м. В электростатическом поле происходит поворот дипольных молекул водяного пара, что приводит к поляризации отраженного солнечного потока. Наибольший уровень поляризации наблюдается в ультрафиолетовом диапазоне. Поскольку максимальный уровень напряженности электростатического поля приурочен к эпицентральной части очага землетрясения и уменьшается к периферии, то и поляризуемость отраженного светового потока изменяется от участка к участку. Изменение поляризации содержит информацию о параметрах предстоящего сейсмического удара: координатах очага, времени удара и его магнитуде. Динамика изменения поляризации как признака-предвестника землетрясения может быть выделена путем линиamentного анализа ультрафиолетового изображения пространства очага. В качестве числовой характеристики динамики изменения принята средневзвешенная сумма азимутов линиamentов. Из математики известно, что сама функция и скорость ее изменения связаны дифференциальным уравнением первой степени, общим решением которого является экспонента. Экспоненциальная зависимость обладает тем свойством, что по трем ее дискретным изменениям может быть восстановлена вся функция. Осуществляя зондирование подстилающей поверхности на трех последовательных витках прохода космического аппарата над зоной очага, при межвитковом интервале измерений ~1,5 час по трем изображениям определяют динамику сейсмического процесса. В качестве средств получения ультрафиолетового изображения использована цифровая видеокамера «Фиалка МВ-КОСМОС», находящаяся на борту Российского сегмента международной космической станции.

Ключевые слова: землетрясение, магнитуда, изображение, поляризация, диполь градиентное поле, линиament, азимут, признак-предвестник.

Очаг землетрясения аккумулирует огромную энергию тектонических напряжений. В потенциальном поле напряжений земной коры возникают аномалии других физических полей:

– явление свечения атмосферы над зоной подготавливаемого землетрясения в полосах Лаймана, Бальмера, Пашена [1];

– явление возникновения поляризационных аномалий светового потока, отраженного от подстилающей поверхности и собственного восходящего излучения [2];

– образование в атмосфере над зоной очага нескомпенсированного заряда кулоновского электричества и электростатического поля напряженностью нескольких кВ/м [3].

Под воздействием электростатического поля происходит поворот дипольных молекул водяного пара в атмосфере. В результате вторичного переизлучения падающего светового потока дипольно-ориентированны-

ми молекулами водяного пара отраженный (восходящий) поток оказывается частично поляризованным. Годограф частично поляризованного потока представляет собой эллипс, главная ось которого совпадает с направлением оси сжатия земной коры, как это иллюстрируется на рис. 1.

Поскольку максимальная напряженность (E) электростатического поля приурочена к эпицентральной части очага и уменьшается к периферии, то и поляризуемость отраженного потока изменяется от участка к участку. Поляризуемость зависит от длины волны. Размер молекул водяного пара составляет порядка $d = 2,5 \cdot 10^{-8}$ см. Чем короче длина волны падающего солнечного потока, тем выше поляризуемость отраженного потока.

Согласно классическим представлениям [4], электроны и атомы вещества под действием световой волны совершают вынужденные колебания. Наличие собственной

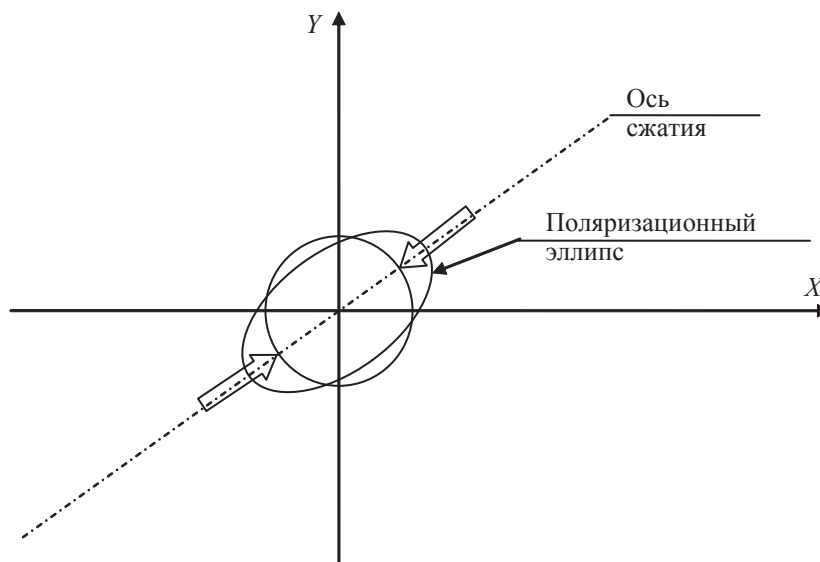


Рис. 1. Ориентация эллипса поляризации относительно оси сжатия
 Fig. 1. The orientation of the polarization ellipse with respect to the compression axis

частоты колебания приводит к зависимости диэлектрической проницаемости вещества и коэффициента преломления (n) от концентрации вторичных излучателей в веществе и от соотношения длин волн

$$n \cong 1 + \sum \frac{N_i e^2}{\pi m_i c^2} \times \frac{1}{1/\lambda_{0i}^2 - 1/\lambda^2}$$

где N_i – концентрация в веществе вибраторов i -го сорта;
 e – заряд электрона;
 m_i – масса вибратора i -го сорта;
 λ_{0i} – собственная длина волны вибратора i -го сорта;

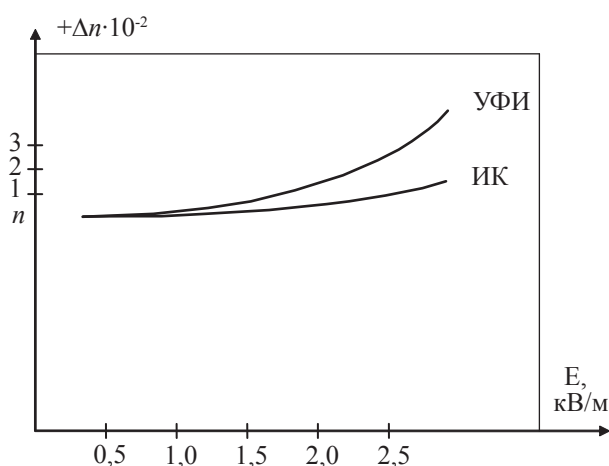


Рис. 2. Зависимость коэффициента преломления от ионной концентрации и длины волны излучения
 Fig. 2. The dependence of the refractive index of the ion concentration and the wavelength of the radiation

λ – длина волны падающего светового потока.

Следовательно, коэффициент преломления и поляризуемость отраженного потока в ультрафиолетовой области спектра (0,2–0,3 мкм) выше, чем в видимом и инфракрасном участках электромагнитного поля (0,4–2 мкм). Зависимость коэффициента преломления от ионной концентрации и длины волны излучения иллюстрируется графиками рис. 2.

Установлено, что психологически опознавание образа человеком-оператором происходит на уровне контурного рисунка. Форма объекта, его образ, являются наиболее емкими информационными признаками [5].

Для получения образа объекта-очага землетрясения формируют градиентное поле линияментов. По определению [6], векторное поле градиентов в каждой точке изображения $I(x, y)$ вычисляют по зависимости

$$\text{grad}I(x, y) = \frac{dI}{dx} i + \frac{dI}{dy} j.$$

Возле каждого пикселя цифровой матрицы изображения расположено 8 смежных пикселей, поэтому в принципе производные каждой точки изображения могут вычисляться как минимум по 8-ми направлениям. За преимущественное направление принимается направление с максимальным градиентом. Само направление задается азимутом штри-

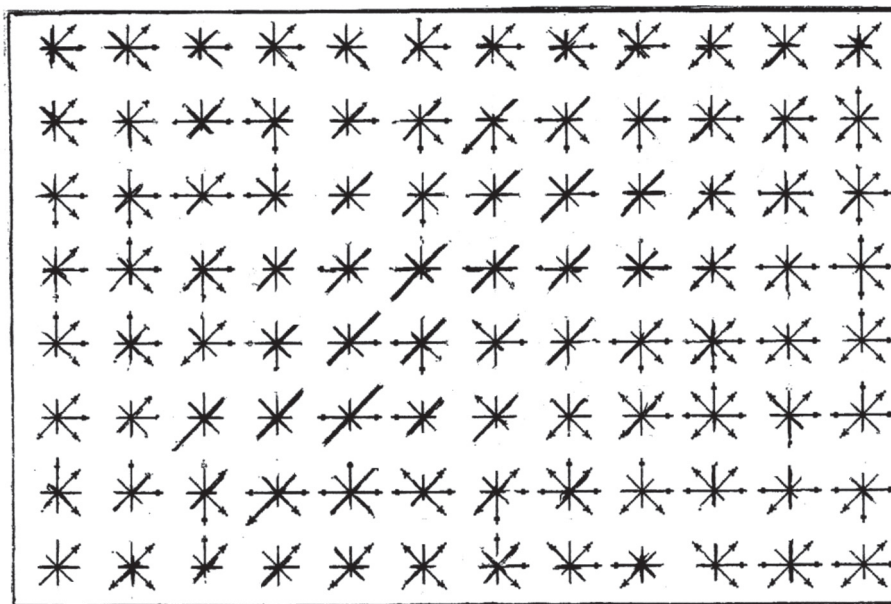


Рис. 3. Визуализированное градиентное поле линияментов ультрафиолетового изображения
 Fig. 3. The rendered gradient field liniamentov ultraviolet image

ха-линиямента, длину которого l_i вычисляют по формуле

$$l_i = \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}$$

а азимут по формуле

$$a_i = \arctg \frac{(y_j - y_i)}{(x_j - x_i)}$$

где (y_j, y_i) и (x_j, x_i) – координаты верхнего и нижнего концов линиямента.

На рис. 3 представлено визуализированное линияментное поле синтезированной матрицы изображения очага землетрясения [7]. Длина штриха каждого линиямента устанавливается во входных параметрах программы. Возникающий накануне сейсмического удара переходный колебательный процесс изменяет картину механических напряжений по пространству очага, следовательно, и поляризационную картину градиентного поля линияментов. В качестве интегрального признака-предвестника сейсмического удара выбирают средневзвешенную сумму азимутов линияментов, определенную как

$$\Sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i.$$

Интегральным он является потому, что аккумулирует в себе промежуточные предвестники: механические напряжения,

дегазацию земной коры, ионизацию молекул воздуха, возникновение нескомпенсированного заряда кулоновского электричества, электростатическое поле (E) в виде купола над пространством очага и, как следствие, поляризационные изменения восходящего (отраженного) потока излучения подстилающей поверхности (очага землетрясения).

Идентификацию очага землетрясения проводят по полученному массиву изображений.

Из математики известно [6], что сама функция u и скорость ее изменения связаны дифференциальным уравнением первой степени, общим решением которого является экспоненциальная функция.

На рис. 4 представлено решение дифференциального уравнения в виде экспоненциальной функции

$$a(t) = 1 - \exp(-t/T)$$

где T – постоянная времени экспоненты, которая характеризует переходной процесс зоны подготавливаемого землетрясения к сейсмическому удару.

Постоянная времени T переходного к сейсмическому удару процесса зависит от геофизических условий земной коры подготавливаемого землетрясения. Экспоненциальная зависимость обладает тем свойством, что по трем ее дискретным измерениям в мо-

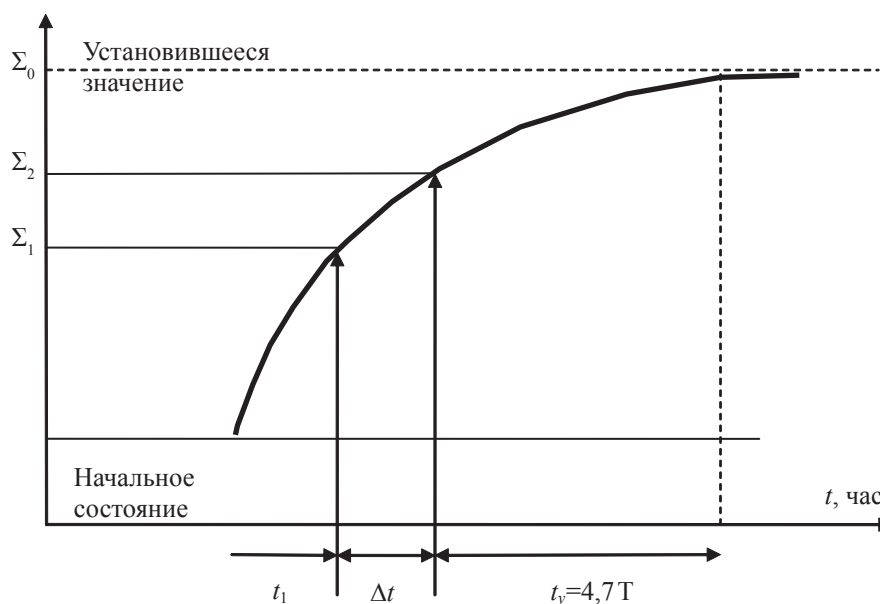


Рис. 4. Динамика изменения средневзвешенной суммы азимутов линиаметов
 Fig. 4. Dynamics of average amount of azimuths liniamentov

менты t_1, t_2, t_3 может быть восстановлена вся функция

$$T = \frac{\Delta t}{\ln \frac{\sum_0 - \sum_1}{\sum_0 - \sum_2}}$$

где Δt – интервал времени между двумя измерениями $\Delta t = (t_2 - t_1)$. Обычно – это межвитковый интервал измерений, равный $\approx 1,5$ часа.

\sum_0 – предельное (установившееся) значение экспоненты, рассчитывается по трем измерениям

$$\sum_0 = \frac{\sum_2^2 - \sum_1 \times \sum_3}{2\sum_2 - \sum_1 - \sum_3}$$

За ожидаемое время сейсмического удара принимают промежуток, за который экспонента переходного процесса достигает значения $0,99\sum_0$, это время $t_y = 4,7 T$.

По эмпирическим данным (более 1000 наблюдений) [3], известно соотношение, связывающее динамический признак-предвестник с магнитудой

$$\lg t_y [\text{сут}] \approx 0,54M - 3,37.$$

Рассмотренная технология реализована при обработке ультрафиолетового изображения сейсмической зоны, полученного цифровой видеокамерой типа «Фиалка-МВ-КОСМОС», находящейся на борту Российс-

кого сегмента международной космической станции [9, 11].

Градиентное поле линиаметов, в виде роз-диаграмм, иллюстрируется на рис. 3. Для обработанного изображения (рис. 3) расчетные параметры переходного к сейсмическому удару процесса составили $\sum_0 = 53^\circ$, $\sum_1 = 8^\circ$, $\sum_2 = 26^\circ$, $\sum_3 = 37^\circ$, $T = 3,8$ час. Ожидаемое время сейсмического удара $t_y \approx 4,7 T = 18$ час, ожидаемая магнитуда $M = 6,1$.

Использование интегрального признака-предвестника в виде суммы азимутов линиаметов градиентного поля ультрафиолетового изображения обеспечит высокую достоверность краткосрочного прогноза землетрясений.

Библиографический список

1. Давыдов, В.Ф. Явление свечения атмосферы над зоной подготавливаемого землетрясения / В.Ф. Давыдов, В.Г. Бондур, Е.Г. Комаров, А.В. Корольков // Научные открытия. – 2010. – № 407.
2. Санаев, В.Г. Явление возникновения поляризованных аномалий электромагнитного поля над очагом землетрясения / В.Г. Санаев, В.Ф. Давыдов, О.Л. Кузнецов, А.Н. Никитин // Научное открытие. – 2007. – № 336.
3. «Краткосрочный прогноз катастрофических землетрясений с помощью радиофизических наземно-космических методов», сборник. Доклады конференций, РАН, ОИФЗ им О.Ю. Шмидта, 1998 г.
4. Физический энциклопедический словарь, под редакцией / А.М. Прохорова. – М.: Сов энциклопедия, 1983.
5. Дуда, Р.О. Распознавание образцов и анализ сцен: пер. с англ. / Р.О. Дуда, П.Е. Харт. – М.: Мир, 1976.

- | | |
|---|---|
| <p>6. P.A. Burrough. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. Nature 294, 1981.p240.</p> <p>7. Пискунов, Н.С. Дифференциальные и интегральные исчисления для ВТУзов: учебник, 5-е издание / Н.С. Пискунов. – М.: Наука, 1964.</p> <p>8. Способ предсказания землетрясений, Патент RU № 2.208239, 2003 г.</p> <p>9. Измеритель признака-предвестника землетрясений Патент RU № 2.326415, 2009 г.</p> | <p>10. Способ краткосрочного прогнозирования землетрясений, Патент RU № 2.423729, 2011 г.</p> <p>11. Специализированное программное обеспечение МАТН САД. 7.0. PLVS, издание 3-е, стереотипное, Информационно-издательский дом «ФИЛИНЬ» 1998 г.</p> <p>12. Ультрафиолетовая камера «Фиалка-МВ-КОСМОС», приложение № 2 к ТЗ на космический эксперимент, шифр «Землетрясение», РОСКОСМОС ЦНИИМАШ, 2009 г.</p> |
|---|---|

THEMATIC PROCESSING OF ULTRA-VIOLET IMAGES

Davydov V.F., Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Tech.)⁽¹⁾; **Sobolev A.V.**, Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D.⁽¹⁾; **Usachev M.S.**, Senior Lecturer Bauman Moscow State Technical University, Ph. D.⁽¹⁾

asobolev@mgul.ac.ru, usachev@mgul.ru

⁽¹⁾ Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch),
1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

A reliable earthquake prediction is possible if their early root causes are measured. It has been established that one of the root causes of earthquakes is the degassing of the earth's crust as a result of mechanical stress. On the eve of a seismic shock in the atmosphere above the center of the earthquake being prepared there is an electrostatic field strength of hundreds kV/m. The electrostatic field is rotated by dipole molecules of water vapor, which leads to the polarization of the reflected solar flux. The highest level of polarization is observed in the ultraviolet range. The maximum level of intensity of the electrostatic field is confined to the epicenter of the earthquake source and decreases toward the periphery, and the polarizability of the reflected light flux varies from site to site. Changing the polarization contains information about the parameters of the upcoming seismic impact: focus coordinates, time and magnitude of impact. Dynamics of changes in polarization, such as earthquake precursor sign, can be isolated by analysis liniamentnogo ultraviolet space focus image. As the numerical characteristics of dynamics of change adopted by the weighted average amount of azimuths liniaments. From mathematics it is known that the function itself and its speed changes are solved by differential equations of the first degree, the general solution of which is the exponent. The exponential dependence has the property that for three whole function can be restored to its discrete changes. By sensing the underlying surface on three consecutive turns of the passage of the spacecraft above the hearth area, with interturn measurement range ~ 1.5 hours, where three images define the dynamics of the seismic process. As a means to obtain ultraviolet images used digital video camera «Violet MV-Kosmos», located on board the Russian segment of the International Space Station.

Keywords: earthquake magnitude, the image polarization dipole gradient field, liniament, bearing a sign, a harbinger.

References

1. Davydov V.F., Bondur V.G., Komarov E.G., Korol'kov A.V. *Yavlenie svecheniya atmosfery nad zonoj podgotavlivaemogo zemletryaseniya* [The atmosphere luminescence phenomenon over a zone of the prepared earthquake], Nauchnye otkrytiya [Discoveries], № 407, 2010.
2. Sanaev V.G., Davydov V.F., Kuznetsov O.L., Nikitin A.N. *Yavlenie vozniknoveniya polarizatsionnykh anomalij elektromagnitnogo polya nad ochagom zemletryaseniya* [The phenomenon of emergence of polarizing anomalies of an electromagnetic field over a seismic center], Nauchnoe otkrytie [Discovery], № 336, 2007.
3. *Kratkosrochnyy prognos katastroficheskikh zemletryaseny s pomoshch'yu radiofizicheskikh nazemno-kosmicheskikh metodov* [The short-term forecast of catastrophic earthquakes by means of radio physical land and space methods], The collection Doklady konferentsiy, RAN, OIFZ im O.Yu. Shmidta [Reports of conferences, Russian Academy of Sciences, OIFZ to them O. Yu. Schmidt], 1998.
4. *Fizicheskij entsiklopedicheskiy slovar* [The physical encyclopedic dictionary], Moscow, Sov. entsiklopediya, 1983.
5. Duda R.O., Khart P.E. *Raspoznvanie obraztsov i analiz stsen* [Recognition of samples and the analysis of scenes], Moscow: Mir, 1976.
6. P.A. Burrough. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. Nature 294, 1981, p. 240.
7. Piskunov N.S. *Differentsial'nye i integral'nye ischisleniya dlya VTUzov*, [Differential and integral calculus for VTUZ], Moscow, Nauka [Science], 1964.
8. *Sposob predskazaniya zemletryaseny* [A method of predicting earthquakes]. Patent RF № 2.208239, 2003.
9. *Izmeritel' priznaka-predvestnika zemletryaseny* [Meter feature-earthquake precursor] Patent RF № 2.326415, 2009.
10. *Sposob kratkosrochnogo prognozirovaniya zemletryaseny* [The method of short-term earthquake prediction]. Patent RF № 2.423729, 2011.
11. *Spetsializirovannoe programnoe obespechenie MATN SAD. 7.0. PLVS* [Specialized software IDA GARDEN. 7.0. PLVS], Moscow: Informatsionno-izdatel'skiy dom «FILIN'» [Information and Publishing House «Filin»], 1998.
12. *Ul'trafiolietovaya kamera «Fialka-MV-KOSMOS»* [Ultraviolet Camera «Fialka-MV-Kosmos»] prilozhenie № 2 k TZ na kosmicheskiy eksperiment, shifr «Zemletryasenie», ROSKOSMOS TsNIIMASH, 2009 g. [№ 2 application to TK in the space experiment, the code «Earthquake» ROSCOSMOS TsNIIMASH], 2009.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТЕПЕНИ АНАЛОГИЧНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ НА ОСНОВЕ ТЕОРИИ НЕЧЕТКИХ МНОЖЕСТВ

О.М. ПОЛЕЩУК, *проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук*⁽¹⁾

poleshchuk@mgul.ac.ru

(1) ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал),
141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

В технических задачах часто возникает необходимость определения степени аналогичности изделий по некоторому параметру. Простота вычислений является достоинством традиционно используемой формулы, а недостатком является то, что степень аналогичности зависит только от разности значений параметра и не зависит от места расположения этих значений на всей области. Этот недостаток является причиной того, что полученные по этой формуле результаты не всегда согласуются с опытом эксперта. Дело в том, что опытный эксперт выделяет на множестве значений параметра некоторые базовые значения и сравнение изделий осуществляет на их основе. Например, эксперт на основе своего опыта выделяет малые значения параметра, средние и большие значения, а аналогичность изделий определяет исходя из того, к какому из лингвистических значений параметра принадлежат ее числовые значения. В статье предлагается подход к определению степени аналогичности изделий, который позволяет учитывать опыт экспертов.

Ключевые слова: экспертная информация, лингвистическая переменная, функция принадлежности, степень аналогичности.

В технических задачах часто возникает необходимость определения степени аналогичности изделий по некоторому параметру. Для определения степени аналогичности изделий со значениями параметра, соответственно равными a и b , обычно используется формула [1]

$$\rho_{ab} = 1 - \frac{|a-b|}{A-B}, \quad (1)$$

где $[A, B]$ область значений параметра.

Простота вычислений является достоинством этой формулы, а недостатком является то, что степень аналогичности зависит только от разности значений параметра и не зависит от места расположения этих значений на всей области $[A, B]$. Этот недостаток является причиной того, что полученные по этой формуле результаты, не всегда согласуются с опытом эксперта. Дело в том, что опытный эксперт выделяет на множестве значений параметра некоторые базовые значения и сравнение изделий осуществляет на их основе. Например, эксперт на основе своего опыта выделяет малые значения параметра, средние и большие значения, а аналогичность изделий определяет исходя из того, к какому из лингвистических значений параметра принадлежат ее числовые значения.

В [1] приведен пример определения степени аналогичности изделий с названием «подогреватель высокого давления» [2] по параметру «давление пара на входе». Параметр имеет область определения $[1, 1, 6, 7]$. В примере определяется степень аналогичности изделий со значениями 1,1 и 1,5 и степень аналогичности изделий со значениями 6,1 и 6,6. Приведенная выше формула дает для первой пары изделий степень аналогичности 0,93, а для второй пары степень аналогичности 0,91. В [1] утверждается, что эти результаты не согласуются с опытом экспертов. Более того, изделия первой пары, исходя из анализа экспертного опыта проектирования аналогичных изделий, значительно меньше похожи между собой, чем изделия второй пары. В [1] предлагается новая формула для определения степени аналогичности изделий на основе функций принадлежности терм-множеств «малое давление», «давление близкое к 4», «большое давление» семантического пространства «давление пара на входе». Однако недостатком этой формулы является отсутствие свойства симметричности. То есть $\rho_{ab} \neq \rho_{ba}$.

В статье предлагается формула определения степени аналогичности изделий, которая лишена этого недостатка.

Понятие лингвистической переменной и полного ортогонального семантического пространства

Согласно [3] нечетким множеством \tilde{A} называется множество пар вида $\{(x, \mu_{\tilde{A}}(x)) : x \in X\}$, где $\mu_{\tilde{A}}(x) : X \rightarrow [0, 1]$ – функции принадлежности \tilde{A} .

Лингвистической переменной называется пятерка

$$\{X, T(X), U, V, S\},$$

где X – название переменной;

$T(X) = \{X_i, i = \overline{1, m}\}$ – терм-множество переменной X , то есть множество 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 .

Термы $X_i, i = \overline{1, m}$ называют понятиями, образующими лингвистическую переменную. Функцию принадлежности нечеткого множества $\tilde{X}_i, i = \overline{1, m}$, описывающего возможные значения нечеткой переменной с названием $X_i, i = \overline{1, m}$, традиционно называют функцией принадлежности понятия $X_i, i = \overline{1, m}$ или функцией принадлежности термина $X_i, i = \overline{1, m}$.

Семантическим пространством называется лингвистическая переменная с фиксированным терм-множеством.

Проведенные теоретические исследования свойств семантических пространств, направленные на повышение адекватности моделей экспертного оценивания характеристик и их полезности для решения практических задач, позволили обоснованно сформулировать требования к функциям принадлежности $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ их терм-множеств [4].

1. Для каждого понятия $X_l, l = \overline{1, m}$ существует $\tilde{U}_l \neq \emptyset$, где $\tilde{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$ есть точка или отрезок.

2. Пусть $\tilde{U}_l = \{x \in U : \mu_l(x) = 1\}$, тогда $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ не убывает слева от \tilde{U}_l и не возрастает справа от \tilde{U}_l .

3. $\mu_l(x), l = \overline{1, m}$ имеют не более двух точек разрыва первого рода.

4. Для каждого

$$x \in U \sum_{l=1}^m \mu_l(x) = 1.$$

Семантические пространства, функции принадлежности которых удовлетворяют сформулированным требованиям, получили название полных ортогональных семантических пространств (ПОСП).

Определение степени аналогичности технических изделий на основе полных ортогональных семантических пространств

Будем считать $U = [A, B]$ областью значений параметра. Эксперт, исходя из своего опыта, выделяет m лингвистических значений этого параметра и для каждого лингвистического значения указывает соответствующие типичные числовые значения. Типичные значения могут быть указаны одним числом или целым промежутком. В зависимости от этого функции принадлежности терм-множеств являются функциями принадлежности треугольных или трапецеидальных функций.

Для типичных значений соответствующая функция принадлежности принимает значение единица. Область типичных значений для этой функции называется областью толерантности. Назовем $|\mu_l(a) - \mu_l(b)|$ мерой потери информации для значений a и b в рамках l -го терм-множества, $l = \overline{1, m}$. Определим степень аналогичности изделий со значениями a и b по рассматриваемому параметру по формуле

$$\eta_{ab} = 1 - \frac{\sum_{l=1}^m |\mu_l(a) - \mu_l(b)|}{2}. \quad (2)$$

Из формулы (2) следует, что если a и b принадлежат области толерантности одной функции ($\mu_l(a) = \mu_l(b) = 1$), то $\eta_{ab} = 1$.

Если a и b принадлежат области неопределенности двух соседних функций ($0 < \mu_l(a) < 1, 0 < \mu_{l+1}(a) < 1, 0 < \mu_l(b) < 1, 0 < \mu_{l+1}(b) < 1$) или одно из значений принадле-

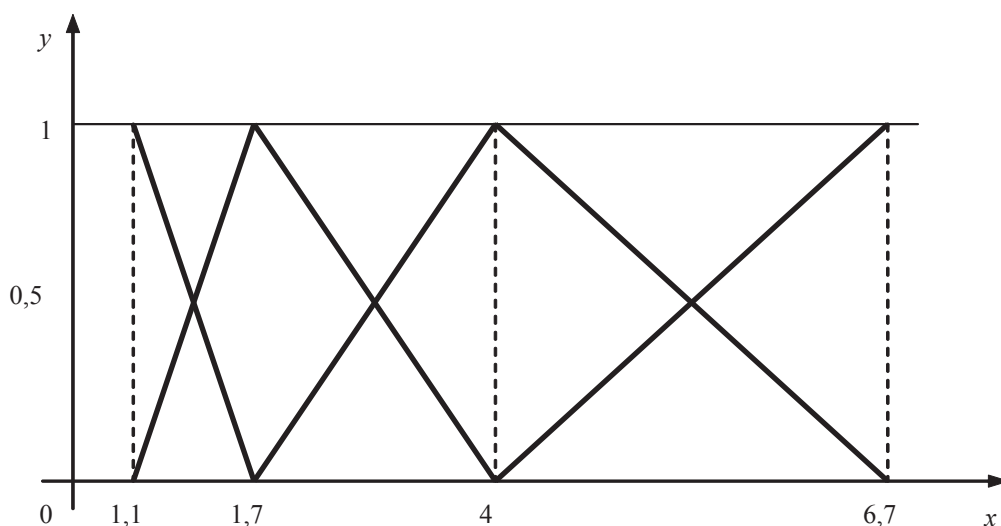


Рисунок. Функции принадлежности терм-множеств семантического пространства «давление пара на входе» изделия «подогреватель высокого давления»
 Figure. Membership functions term set of semantic space «steam inlet pressure» product «of high pressure heater»

жит области толерантности одной функции, а другое значение принадлежит области неопределенности соседней функции, то

$$\eta_{ab} = 1 - |\mu_i(a) - \mu_i(b)|. \quad (3)$$

Последняя формула (3) следует из свойств функций принадлежности терм-множества ПОСП

$$\begin{aligned} \mu_i(a) + \mu_{i+1}(a) &= 1, \mu_i(b) + \mu_{i+1}(b) = 1 \Rightarrow \\ \Rightarrow \mu_i(a) - \mu_i(b) &= \mu_{i+1}(b) - \mu_{i+1}(a) \Rightarrow \\ \Rightarrow |\mu_i(a) - \mu_i(b)| &= |\mu_{i+1}(a) - \mu_{i+1}(b)|. \end{aligned}$$

Если сравнить формулу (3) с формулой (1), которая традиционно применяется для нахождения степени аналогичности, то оказывается, что они очень похожи, только в первой формуле оперирование производится с самими значениями параметра, а во второй формуле – со значениями функций принадлежности этих значений. В первой формуле присутствует мощность (длина) области значений характеристики – $(B - A)$, а во второй формуле присутствует мощность области значений функций принадлежности – 1. В остальных ситуациях $\eta_{ab} = 0$.

Используя функции принадлежности ПОСП «давление пара на входе», изображенные на рисунке, были вычислены степень аналогичности изделий со значениями давления пара 1.1 и 1.5 и степень аналогичности изделий со значениями давления пара 6.1 и 6.6.

Получены результаты: $\eta_{1.1,1.5} = 0,34$, $\eta_{6.1,6.6} = 0,82$. Согласно [1], эти результаты согласуются с опытом экспертов.

Выводы

Для определения степени аналогичности технических изделий традиционно используется подход, результаты которого не всегда согласуются с опытом экспертов. Происходит это по причине того, что экспертный опыт и знания трудно формализуемы в рамках классической теории множеств. В статье предлагается подход на основе теории нечетких множеств, который позволяет ликвидировать этот недостаток.

Библиографический список

1. Малышев, Н.Г. Нечеткие модели для экспертных систем в САПР/ Н.Г. Малышев, Л.С. Берштейн., А.В. Боженок. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 136 с.
2. Марушкин, В.М. Подогреватели высокого давления турбоустановок ТЭС и АЭС/ В.М. Марушкин, С.С. Иващенко, Б.Ф. Вакуленко. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 63 с.
3. Заде, Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 165 с.
4. Полещук, О.М. О развитии систем обработки нечеткой информации на базе полных ортогональных семантических пространств / О.М. Полещук // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2003. – № 1 (26). – С. 112–117.
5. Полещук, О.М. Математическая модель обработки экспертных оценок / О.М. Полещук // Вест-

- ник МГУЛ – Лесной вестник. – 2005. – № 6(42). – С. 161–164.
6. Поleshchuk, O.M. Методы представления экспертной информации в виде совокупности терм-множеств полных ортогональных семантических пространств / О.М. Поleshchuk // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. – 2002. – № 5 (25). – С. 198 – 216.
 7. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. – Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. – 237 p.
 8. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems.– 2014.– Vol. 26. – P. 1089–1094.

DETERMINATION OF THE ANALOGY DEGREE OF TECHNICAL PRODUCTS ON THE BASIS OF FUZZY SETS

Poleshchuk O.M., Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾

poleshchuk@mgul.ac.ru

⁽¹⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch), 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

While solving engineering problems, it is often necessary to define analogy degree of a product by some parameters. Advantage of traditional formula is simplicity of calculations, and its disadvantage is that analogy degree only depends on a difference of parameter values and does not depend on location of these values over the whole area. This disadvantage is the reason of the fact that outcomes obtained with this formula do not always match expert experience. The matter is that a qualified expert selects some base values of parameter within a set of parameters and makes comparison of products on the basis of selected values. For example, an expert selects low, mean and high values, and defines analogy of products depending on what linguistic values of parameter its numerical values belong to. We propose the approach that consists with the experience of experts.

Keywords: expert information, linguistic variable, membership function, analogy degree.

References

1. Malyshev, N.G., Bernshteyn L.S., Boghenyuk A.V. *Nechetkie modeli dlya ekspertnykh system in CAD* [Fuzzy models for expert systems], Moscow: Energoatomizdat, 1991, 136 p.
2. Marushkin V.M., Ivashenko S.S., Vakulenko B.F. *Podogrevateli vysokogo davleniya turboustanovok TES i AES* [High-pressure heaters turbines TPP and NPP], Moscow: Energoatomizdat, 1985, 63 p.
3. Zadeh L.A. *Ponyatie lingvisticheskoy peremennoy i ego primeneniye k prinjatiyu priblizitel'nykh resheniy* [Concept of a linguistic variable and its application to adoption of approximate decisions], Moscow: Mir, 1976, 165 p.
4. Poleshchuk O.M. *O razvitiy sistem obrabotki nechetkoj informacii na baze polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv* [On the development of fuzzy information processing systems on the basis of complete orthogonal semantic spaces], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2003, № 1 (26), pp. 112-117.
5. Poleshchuk O.M. *Matematicheskaya model obrabotki ekspertnykh otsenok* [Mathematical model of processing expert assessments], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2005, № 6 (42), pp. 161-164.
6. Poleshchuk O.M. *Metody predstavleniya ekspertnoy informatsii v vide sovokupnosti term-mnozhestv polnykh ortogonal'nykh semanticheskikh prostranstv* [Methods of presentation of expert information as a set of term-sets of complete orthogonal semantic spaces], *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo universiteta lesa – Lesnoy vestnik*, 2002, № 5 (25), pp. 198-216.
7. Olga Poleshchuk and Evgeniy Komarov Expert Fuzzy Information Processing. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2011. 237 p.
8. Ashraf Darwish and Olga Poleshchuk New models for monitoring and clustering of the state of plant species based on semantic spaces // Journal of Intelligent and Fuzzy Systems. 2014. V. 26. P. 1089-1094.

О ДВУХВОЛНОВОМ ПРИБЛИЖЕНИИ ДИФРАКЦИИ СВЕТА В ХОЛЕСТЕРИЧЕСКИХ ЖИДКИХ КРИСТАЛЛАХ С БОЛЬШИМ ШАГОМ СПИРАЛИ

Н.В. ШИПОВ, доц. МГТУ им. Н.Э. Баумана, канд. физ.-мат. наук⁽¹⁾,

О.М. ПОЛЕЩУК, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р техн. наук⁽¹⁾,

А.И. РУБИНШТЕЙН, проф. МГТУ им. Н.Э. Баумана, д-р физ.-мат. наук⁽¹⁾

poleshchuk@mgul.ac.ru, nvshi@mail.ru, caf-math@mgul.ac.ru

⁽¹⁾ ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)» (Мытищинский филиал),
141005, Московская область, г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Установлено, что для незначительных отклонений θ направления распространения волн от оси холестерического жидкого кристалла с большим шагом спирали справедливо двухволновое приближение, $P \sim \lambda / \delta$, где λ – длина волны, δ – диэлектрическая анизотропия. Анализ проводится в рамках многоволнового приближения. Найдены частотные зависимости коэффициентов пропускания и отражения света, которые оказываются существенно нерезонансными и асимметричными. Амплитуда биений в частотных зависимостях коэффициентов пропускания и отражения света может достигать единицы. Например, круговая поляризация может быть преобразована в противоположную круговую поляризацию уже при длинах волн $\lambda \sim \delta P$, где P – шаг спирали ХЖК, δ – диэлектрическая анизотропия ХЖК для углов θ вплоть до значений 15–20 градусов. Вычислены коэффициенты пропускания света в скрещенных поляроидах $T_{\text{пр}}(\omega)$. Отмечается хорошее совпадение положений расчетных частотных максимумов и минимумов и полученных экспериментально частотных максимумов и минимумов $T_{\text{пр}}(\omega)$. Амплитуды максимумов и минимумов частотных зависимостей $T_{\text{пр}}(\omega)$ также находятся в хорошем согласии с экспериментальными спектрами $T_{\text{пр}}(\omega)$.

Ключевые слова: холестерический жидкий кристалл, шаг спирали, диэлектрическая анизотропия.

Дифракционная оптика в совершенных структурах, в частности в идеальных кристаллах, когда длина волны падающего излучения сравнима с периодом структуры, исследуется теоретически и экспериментально на протяжении длительного периода времени как в рентгеновском диапазоне длин волн [1], так и в обычном световом диапазоне длин волн [2, 3]. Традиционно для описания дифракции излучения в различных геометриях Брега или Лауэ при теоретическом подходе используется двухволновое приближение [1, 2]. Более узкие исследования в указанном приближении выявили возрастание спектральной плотности излучения заряженных частиц вблизи границ дифракционного (селективного) отражения [4, 5], а также сдвиг порога черенковского излучения [6], что связано с дифракционным изменением эффективных показателей преломления вблизи границ селективного отражения.

Соответствующие узкие максимумы вблизи границ селективного отражения выявлены при нелинейном преобразовании частоты [7, 8], однако частотные максимумы оказываются зависящими от толщины образца

и при интегральном усреднении эффективность преобразования снижается [7–9].

Метод медленно меняющихся амплитуд использовался для анализа экспериментальных спектров пропускания света в планарном слое холестерического жидкого кристалла (ХЖК) с большим шагом спирали при наклонном падении света [10, 11] по отношению к спиральной оси ХЖК.

В настоящей работе развивается альтернативный подход с использованием многоволнового приближения для описания дифракционной оптики ХЖК с большим шагом спирали при наклонном падении света.

Известно, что вне области селективного отражения при наклонном падении света холестерик аналогичен одноосному кристаллу [2]. Однако приближение плоской линейно поляризованной волны становится несправедливым, если вектор обратной решетки $\tau = 4\pi/P$ оказывается порядка величины двупреломления $\delta \chi$, P – шаг спирали, $\chi = \omega \epsilon^{1/2} / c$, ϵ – диэлектрическая проницаемость, δ – диэлектрическая анизотропия. Теоретический расчет с использованием метода медленно меняющихся амплитуд [10] и эксперимент [11] показали, что на длине

волны $\lambda \sim \delta P$ падающая на кристалл π – поляризованная волна может быть преобразована в σ – поляризованную волну и наоборот. Здесь π -орт поляризации в плоскости падения с осью ХЖК, σ – перпендикулярен ей. Если же длина волны отличается от указанной, то такое рассеяние практически отсутствует в случае немалых углов θ падения света с осью холестерика. Для малых углов θ приближенный метод медленно меняющихся амплитуд становится неприменимым [10], поскольку двупреломление становится малым: $n_o - n_e \sim \delta \sin^2 \theta \sim \delta^2$.

В связи с этим представляет интерес более детальное изучение особенностей дифракции света в холестерике с большим шагом спирали, в частности, при незначительных отклонениях θ пучка света от оси ХЖК. Анализ вращения плоскости поляризации как раз усложняется именно в интервале частот $\lambda \sim \delta P$ [2].

Используем известную систему [2] для пространственных поперечных фурье-компонент поля, отвечающих волновым векторам

$$k_n = k_0 + n \tau, \quad n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots \quad (1)$$

$$(\epsilon_0 - \epsilon k_n^2 / \chi^2) E_n + \sum_s \epsilon_s E_{n-s} = 0, \quad (2)$$

$$n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

В случае холестерического жидкого кристалла [2], отличными от нуля оказываются только пространственные фурье-компоненты ϵ_0 и $\epsilon_{\pm 1}$ тензора диэлектрической проницаемости, соответствующие $s = 0, \pm 1$.

Будем считать, что угол θ вектора k_0 с осью z холестерического жидкого кристалла является незначительной величиной, $\theta \sim \delta^{1/2}$, а также малой величиной считаем $\tau \sim \delta \chi$. Проектируя уравнения (2) на циркулярные орты

$$n_0 = (I \cos \theta - j - z \sin \theta) / 2^{1/2},$$

$$n_1 = (I \cos \theta + j - z \sin \theta) / 2^{1/2}$$

где I, j, z – единичные орты ортогональной системы координат, приходим к системе связанных уравнений для амплитуд E_0, E_1, E_2 и E_{-1} , причем, только первые две амплитуды оказываются немалыми, а все остальные оказываются относительно них величинами порядка δ и θ^2 .

То же самое можно сказать и относительно проекций E_0, E_1 на сопряженные циркулярные орты.

Приведем только систему для E_0, E_1 с точностью до слагаемых порядка δ и θ^2 :

$$\begin{aligned} (1 - k_0^2 / \chi^2) E_0^2 + \delta E_1 &= 0, \\ \delta E_0 + (1 - k_1^2 / \chi^2) E_1 &= 0, \end{aligned} \quad (3)$$

где выражаем вектор

$$k_0 = \chi + z \Delta \quad (4)$$

через вектор

$$\chi = \chi(I \sin \theta + z \cos \theta), \quad (5)$$

составляющий угол θ с осью z во внешней среде с постоянной диэлектрической проницаемостью ϵ .

Подставляя (4), (5) в (3), из условия равенства нулю определителя системы (3) находим два значения Δk для двух собственных решений (мод) ХЖК:

$$\Delta k = (\tau \pm (\tau^2 + \delta^2 \chi^2)^{1/2}) / 2. \quad (6)$$

Векторные амплитуды $E(r)$ двух собственных мод ХЖК оказываются равными

$$E(r) = n_0 \exp(ik_0 r) + n_1 \exp(i(k_0 + \tau)r), \quad (7)$$

где $\tau = (-4\pi/P)z$ есть вектор обратной решетки ХЖК.

Подставляя (4), (5) в коэффициенты системы (3), несложно получить оценку этих множителей

$$1 - k_0^2 / \chi^2 \sim \Delta k / \chi.$$

Поскольку, как это следует из (5), величина Δk оказывается порядка $\delta \chi$, то все слагаемые системы (3), включая и второй множитель $1 - k_1^2 / \chi^2$, оказываются величинами порядка δ . Здесь с практической точки зрения важно отметить, что допустимый угол θ падения внешней волны в формуле может отклоняться от оси z ХЖК вплоть до значений порядка $\delta^{1/2}$. Типичные значения диэлектрической анизотропии δ оказываются на практике величинами в диапазоне от 0,01 до 0,1. Поэтому можно надеяться, что формулы (4)–(7), описывающие двухволновое приближение (7), получаемые в рамках многоволнового приближения, будут справедливы вплоть до углов θ порядка 15–20 градусов.

При падении на кристалл циркулярно поляризованной волны для интенсивностей правой (левой) круговой поляризации в проходящем свете находим

$$T_+ = 1 - T_-, \quad T_- = (\delta \chi / r)^2 \sin^2 Lr / 2. \quad (8)$$

В случае малого поглощения влияние холестерического жидкого кристалла сводится, таким образом, только к изменению по-

ляризации и фазы волны. В частности, при $Lr = 2\pi m$ не изменяется также и поляризация проходящей волны. Напротив, при частотах, удовлетворяющих условию

$$Lr = \pi + 2\pi m. \quad (9)$$

В проходящем свете максимально представлена противоположная круговая поляризация. С увеличением частоты амплитуда биений возрастает. Так уже при частотах $\delta\chi \sim 3\tau$ интенсивность противоположной круговой поляризации в проходящем свете составляет до 90 %.

Пусть теперь на кристалл падает линейно поляризованная волна (для определенности π – поляризация). Будем считать, как и в эксперименте [11], что ориентация директора на входной поверхности планарного слоя холестерического жидкого кристалла расположена в плоскости падающей волны, то есть $\Phi = 0$.

Для коэффициента пропускания света в скрещенных поляроидах (то есть для интенсивности σ – поляризованной составляющей в проходящем свете) аналогично изложенному находим

$$T_{\pi\sigma}(\omega) = (\tau/r)^2 \sin^2 Lr/2. \quad (10)$$

Максимумы и минимумы частотной зависимости (10) описываются аналогичными выражениями

$$Lr = \pi + 2\pi m, \quad (11a)$$

$$Lr = 2\pi m. \quad (11б)$$

Приведем параметры экспериментального спектра [11] пропускания света в скрещенных поляроидах под углом $\theta = 29$ градусов к спиральной оси холестерического жидкого кристалла: анизотропия показателя преломления $\Delta n = 0,22$, шаг спирали $P = 9,5$ мкм. Число полувитков спирали – 8. Поэтому директор на входной и выходной поверхности планарного слоя холестерического жидкого кристалла ориентирован одинаково. Директор на водной поверхности планарного слоя расположен в плоскости падения, то есть $\Phi = 0$.

Расчет положений частотных максимумов для указанных выше параметров эксперимента [11] по формуле (11a) приводит к следующим значениям обратной длины волны $1/\lambda$ (выраженных в мкм^{-1}):

$$1,45; 1,59; 1,73; 1,86. \quad (12)$$

Соответствующие частотные максимумы, найденные по экспериментальному спектру пропускания света в скрещенных поляроидах [11], оказываются равными

$$1,45; 1,60; 1,74; 1,87. \quad (13)$$

Расхождения во втором знаке, по-видимому, как раз и обусловлены точностью используемого двухволнового приближения, поскольку $\delta \sim 0,1$.

Величины частотных максимумов $T_{\pi\sigma}(\omega)$, рассчитанные по формуле (10), также согласуются с экспериментальными данными и не превышают значений 0,3–0,4.

Что касается частотных минимумов $T_{\pi\sigma}(\omega)$, то в рассматриваемом приближении, как следует из (10), они все равны нулю. Экспериментальные данные всех минимумов $T_{\pi\sigma}(\omega)$ равны приблизительно 0,05. Одной из возможных причин расхождения положений частотных минимумов (наряду с обсуждавшейся выше точностью решений порядка δ) является тот факт, что при решении граничной задачи показатель преломления внешней среды считался равным среднему показателю преломления холестерического жидкого кристалла, то есть не учитывалось френелевское отражение на границе планарного слоя ХЖК и внешней среды пластины, ограничивающей слой ХЖК с двух сторон.

Не изученными в должной степени, по нашему мнению, являются частные зависимости коэффициентов пропускания и отражения света в зависимости от ориентации директора на входной и выходной поверхности планарного слоя ХЖК с большим шагом спирали. Влияние фактора поглощения здесь также представляет значительный интерес.

В заключение еще раз подчеркнем, что двухволновое приближение (4)–(7) получено в рамках многоволнового приближения (1)–(2) и является прямым следствием уникальной геликоидальной структуры холестерического жидкого кристалла. Оно справедливо для незначительных отклонений θ направления падающей волны от спиральной оси ХЖК. В случае распространения волн вдоль спиральной оси ХЖК ($\theta = 0$), как известно [2], существуют точные решения для двух собственных волн ХЖК, каждая из которых представлена

в виде двух слагаемых, соответствующих (7), что и позволило использовать термин двухволновое приближение.

Библиографический список

1. Пинскер, З.Г. Рентгеновская кристаллооптика / З.Г. Пинскер. – М.: Наука, 1982. – 290 с.
2. Беляков, В.А. Оптика холестерических жидких кристаллов / В.А. Беляков, А.С. Сонин. – М.: Наука, 1982. – 320 с.
3. Чигринов, В.Г. Электрооптика жидких кристаллов / В.Г. Чигринов // Кристаллография. – 1982. – Т.27. – Вып. 2. – С. 404–430.
4. Шипов, Н.В. К теории излучения Вавилова-Черенкова в холестерическом жидком кристалле / Н.В. Шипов, В.А. Беляков // Журн. эксп. и теоретич. физики. – 1978. – Т.75. – Вып. 5. – С. 1589–1601.
5. Шипов, Н.В. Дифракционные особенности излучения Вавилова-Черенкова в холестерическом жидком кристалле / Н.В. Шипов // Журн. эксп. и теоретич. физики. – 1984. – Т.86. – Вып. 6. – С. 2075–2090.
6. Беляков, В.А. О пороге излучения Вавилова-Черенкова в В периодических средах / В.А. Беляков, Н.В. Шипов // Журн. эксп. и теоретич. физики. – 1985. – Т.88. – Вып. 5. – С. 1547–1550.
7. Belyakov, V.A., Shipov, N.V. On the enhancement of the Nonlinear Frequency Transformation in Periodic Media. // Phys. Lett. – 1981. – V.86A. – №. 5. – С. 94 – 96.
8. Беляков, В.А. К теории нелинейно-оптического преобразования частоты в холестерическом жидком кристалле / В.А. Беляков, Н.В. Шипов // Журн. эксп. и теоретич. физики. – 1982. – Т.82. – Вып. 4. – С. 1159–1169.
9. Шипов, Н.В. О свойствах функционала $P(1/x)$ в пространстве обобщенных функций медленного роста / Н.В. Шипов // Вестник МГУЛ – Лесной Вестник. – 2010. – Т.75. – Вып. 6. – С. 183–185.
10. Осадчий, С.М. Дифракционная электрооптика холестериков с большим шагом спирали / С.М. Осадчий // Кристаллография. – 1984. – Т. 29. – Вып. 5. – С. 976–983.
11. Хоштария, Д.Г. Дифракция света в холестериках с большим шагом спирали / Д.Г. Хоштария, С.М. Осадчий, Г.С. Чилая // Кристаллография. – 1985. – Т.30. – Вып. 4. – С. 755–757.

TWO-WAVE APPROXIMATION OF LIGHT DIFFRACTION IN CHOLESTERIC LIQUID CRYSTAL WITH LARGE HELICAL PERIOD

Shipov N.V., Assoc. Prof. Bauman Moscow State Technical University, Ph. D. (Physics and Mathematics)⁽¹⁾; Poleshchuk O.M., Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Tech.)⁽¹⁾; Rubinshteyn A.I., Prof. Bauman Moscow State Technical University, Dr. Sci. (Physics and Mathematics)⁽¹⁾

poleshchuk@mgul.ac.ru, nvshi@mail.ru, caf-math@mgul.ac.ru
⁽¹⁾Bauman Moscow State Technical University (Mytishchi branch),
 1 st. Institutskaya, 141005, Mytishchi, Moscow reg., Russia

It is shown that the two-wave approximation is correct in the case of small wave direction divergence θ with respect to helical axis z of the cholesteric liquid crystal with large helical period $P \sim \lambda/\delta$, where λ is light wave length, δ – dielectric anisotropy of the cholesteric liquid crystal. The analysis is carried out in the case of multi-wave approximation. The frequency dependencies of light transmission and reflection coefficients $T_{\pi\sigma}(\omega)$, $R_{\pi\sigma}(\omega)$ are found, where π is the polarization ort in the plane of incidence, σ is orthogonal that plane. The variation amplitude of the light transmission and reflection coefficients $T_{\pi\sigma}(\omega)$, $R_{\pi\sigma}(\omega)$ may reach unity. For example the light circular polarization may be transformed into opposite light circular polarization under wave length $\lambda \sim P\delta$ and $\theta \sim 20$ degree of circle/ The maximum and minimum positions of frequency dependencies $T_{\pi\sigma}(\omega)$, $R_{\pi\sigma}(\omega)$ are found. The theoretical and experimental maximum and minimum positions of frequency dependencies $T_{\pi\sigma}(\omega)$, $R_{\pi\sigma}(\omega)$ are lying in good agreement. The maximum and minimum amplitudes of frequency dependencies $T_{\pi\sigma}(\omega)$ are also lying in good agreement with the experimental maximum and minimum amplitudes of frequency dependencies $T_{\pi\sigma}(\omega)$.

Keywords: cholesteric liquid crystal, helical period, dielectric anisotropy

References

1. Pinsker Z.G. *Rentgenovskaya kristallografiya* [X-rayed Optics of Crystals], Moscow: Nauka Publ., 1982, 290 p.
2. Belyakov V.A., Sonin A.S. *Optika kholestericheskikh zhidkikh kristallov* [Optics of cholesteric liquid crystals], Moscow: Nauka Publ., 1982, 320 p.
3. Chigrinov V.G. *Elektrooptika zhidkikh kristallov* [Optics of Liquid Crystals in Electric Field], 1982, V. 27, no. 2, pp. 404-430.
4. Shipov N.V., Belyakov V.A. *K teorii izlucheniya Vavilova-Cherenkova v kholestericheskom zhidkom kristalle* [On the theory Cherenkov Radiation in cholesteric liquid Crystals], Journal of experimental and theoretical Physics, 1978, V. 75, no. 5. pp. 1589-1601.
5. Shipov N.V. *Difraktsionnye osobennosti izlucheniya Vavilova-Cherenkova v kholestericheskom zhidkom kristalle* [Diffraction of Cherenkov Radiation in cholesteric liquid Crystals], Journal of experimental and theoretical Physics, 1984, V. 86, no. 6. pp. 2075-2090.
6. Belyakov V.A., Shipov N.V. *O poroge izlucheniya Vavilova-Cherenkova v kholestericheskom zhidkom kristalle* [Cherenkov Radiation Threshold in cholesteric liquid Crystals], Journal of experimental and theoretical Physics, 1985, V. 88, no. 5. pp. 1547-1550.
7. Belyakov V.A., Shipov N.V. On the enhancement of the Nonlinear Frequency Transformation in Periodic Media. Phys. Lett., 1981, V. 86A, № 5. pp. 94-96.
8. Belyakov V.A., Shipov N.V. *K teorii nelineynno-opticheskogo preobrazovaniya chastoty v kholestericheskom zhidkom kristalle* [On the theory on nonlinear frequency transformfition in cholesteric liquid Crystals], 1982, V. 88.
9. Shipov N.V. *O svoystvakh funktsionala P(1/x) v prostranstve obobshchennykh funktsiy medlennogo rosta* [About properties of functionality of $P(1/x)$ in space of the generalized functions of slow growth], Moscow state forest university bulletin - Lesnoy vestnik, 2010, no. 6. pp. 183-185.
10. Osadchiy S.M. *Difraktsionnaya elektrooptika kholesterikov sbol'shim shagom spirali* [Light diffraction in cholesteric liquid Crystals with large helical period], Kristallografiya [Crystallography], 1984, V. 29, no. 5, pp. 976-983.
11. Khoshtariya D.G., Osadchiy S.M., Chilaya G.S. *Difraktsiya sveta v kholesterikakh s bol'shim shagom spirali* [Light diffraction in cholesteric liquid Crystals with large helical period], Kristallografiya [Crystallography], 1985, V. 30, no. 4, pp. 755-757.

СТРАТЕГИИ ПЕРЕВОДА ПРИ ПЕРЕВОДЕ АВТОРСКИХ ТЕРМИНОВ ГУМАНИТАРНЫХ НАУК

А.А. КОСАРИНА, МГУ им. М.В. Ломоносова⁽¹⁾,
А.Е. ФЕДОТОВА, МГУ им. М.В. Ломоносова⁽¹⁾

alexa7979@yandex.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова, филологический факультет
119991, Москва, Ленинские горы, ГСП-1, 1-й корпус гуманитарных факультетов

Особенности перевода авторских терминов гуманитарных наук в значительной степени зависят от особых свойств самих терминов. Так как значительная часть авторских терминов – неологизмы, часто у таких терминов существуют орфографические, морфологические или лексические вариации, а также часто не имеют вариантов перевода, закрепленных в англо-русских словарях. Таким образом, перевод авторских терминов также часто вариативен; можно выделить пять основных стратегий перевода терминов. Наиболее продуктивными являются калька (с помощью данной переводческой стратегии переведено примерно 42 % рассмотренных авторских терминов) и заимствование из языка оригинала – транскрипция (32 % терминов) и транслитерация (26 % терминов). Последние две переводческие стратегии становятся все более продуктивны благодаря международной тенденции к глобализации. Менее продуктивными стратегиями являются выбор культурного эквивалента, генерализация (обобщение) и дескриптивный (описательный) перевод.

Ключевые слова: авторские термины, англоязычная терминология, перевод авторских терминов, перевод терминологии, стратегии перевода, техники перевода.

The main specific features of the translation of author terms depend on the specific features of the author terms themselves. Such terms, being mostly neologisms, often have various spelling or meaning variations and more often than not do not have translations fixed in dictionaries.

One of the main specific features of author terms translation on the level of dictionaries is the variety of translations. A great number of author terms have a variety of translations which is the result of different strategies and techniques.

Sometimes the variants include translations made according to one strategy of translation. In this case, the strategy is either finding a lexical equivalent (in this case, the diversity of translation variants is due to the fact that there are a number of equivalents in the target language) or calque translation:

Nonobjective – абстрактный, нерепрезентативный (не изображающий реальных предметов) *non objective art forms without any reference to reality – абстрактные художественные формы, не имеющие связи с реальностью* [1, С. 148].

The Action Painting – «живопись действия», «живопись жеста», «активная живопись» (форма абстрактного экспрессионизма, акцентировавшая значение физического действия в живописи) [1, С. 149].

Most often, though, various translations are made by means of different strategies, for example:

Neo-impressionism - Неоимпрессионизм, дивизионизм, пуантилизм [1, С. 99];

Art Brut - «ар брют» (искусство душевнобольных, «наивное» творчество маргиналов), «сырое искусство», непрофессиональное искусство [2, С. 80];

Pop art I - поп-арт, искусство в стиле «поп» [3, С. 120];

Pop art II - поп-арт, поп-искусство [2, С. 272].

Sometimes the difference is seen only on the level of spelling, for example, the term **happening** can be translated through transcription (I) or transliteration (II):

Happening I – 1. Хэппенинг, экспериментальный жанр советского театрального искусства;

2. импровизированные акты искусства [3, С. 67].

Happening II - Хеппенинг (действие, соединяющее визуальные искусства и театрализованную импровизацию) [2, С. 552]

Some translation variants result from the use of certain translation techniques, for example:

Orphism – орфизм, орфический кубизм (течение в изобразительном искусстве

начала 20 века, главным образом во Франции) [1, С. 170];

Conceptual art, conceptualist art – **концептуальное искусство, концептуализм** [2, С. 36];

Vorticism – **вортуизм, вортицизм** (кратковременное направление в английской литературе и живописи в 1912-15) [1, С. 614].

Even if there is only one variant of translation, the dictionaries tend to provide an explanation of the notion (which is not characteristic of the non-author terms listed in the same dictionaries). This brief explanation can be seen either as a brief reminder of the meaning of a term or as a descriptive variant of translation. Approximately 80% of the author term translations include this explanation, for example:

Cloisonnism - **клуазоннизм** (стиль живописи, в которой области яркого, плоского цвета разделены темным контуром, подобно витражам в перегородчатой эмали) [2, С. 106];

Neo-Plasticism – **неопластицизм** (вид четкой геометрической абстрактной живописи группы голландских художников) [1, С. 48];

Luminism – **Люминизм** (1. Особое качество живописи, придание краскам светоносности; 2. Техника живописи, заключающаяся в отображении игры света на воде) [2, С. 360].

Almost all the main strategies of term translation can be observed in the translation of author terms.

The first method is **to find a cultural equivalent**. Most often, author terms are coined due to extralinguistic reasons, thus author term coinage usually coincides with the emergence of a new notion. And, as the author terms always have an author, in most cases it is quite easy to state where (and, generally, at what time) the term was coined. Thus, it is pointless to try to find an equivalent in the target culture, as both the term and the notion denoted by this term are generally borrowed at the same time.

Thus, to find a cultural equivalent is one of the least productive strategies of translating author terms. Yet, this strategy can be used mostly with consubstantial terms (the percentage of which is also quite small), for example:

All-over painting– *a term first applied to the abstract expressionist drip paintings of Jackson Pollock which appeared to have no top or bottom* [5, С. 8];

All-over (painting) – **сплошной, ровно покрывающий всю поверхность**. [2, С. 97].

As there are two variants of translation, only one of which is equivalent translation, there is a need to have a look at the level of speech, where the most frequent translation of **all-over** is indeed **сплошной**:

<p>At the same time Pollock's all-over painting, his unfocused dripping to the very edge of the painting. But even the Impressionists had used this kind of «framing» to create the impression of being realistic. Jack «the Dripper» now intensified the impression of realistic immediacy with his extremely large formats. The paintings face the observer like a wall. No path, no gaze leads past them. They are part of the environment [9].</p>	<p>В то же время в своей «сплошной» живописи Поллок произвольно разбрызгивал краски до самого края картины. Даже импрессионисты использовали этот прием, чтобы создавалось более реалистичное впечатление от картины. «Джек-Разбрызгиватель» еще больше усилил воздействие реалистичной непосредственности своих работ, создавая картины чрезвычайно больших размеров. Перед зрителем предстают картины размером со стену. Их невозможно обойти или не заметить. Они являются частью окружающего мира [10].</p>
---	--

The frequency of the first translation strategy is very low (~3%).

The second method of term translation is **calque**-translation, or translation word-by-word. This method involves translating terms, often compound ones, part-by-part. In author art terminology translation, this method is the main one in dealing with consubstantial terms, for example:

Combine Art [5, С. 63] – **комбинированное произведение, комбинированная живопись** [2, С. 281];

Anti-Art, anti-art [5, С. 11] – **антиискусство** (заведомо провокационные формы искусства) [2, С. 132];

Aesthetic Movement [5, С. 5] - **эстетическое движение** [1, С. 781];

Abstract art [5, С. 1] - *абстрактное искусство* [2, С. 5];

Auto-destructive art – *art which is deliberately intended to self-destruct. The concept was developed in the 1950s, most notably by Gustav Metzger who originated*

the term and wrote several manifestos. [5, С. 20].

The translation of this term has not been found in the authoritative bilingual dictionaries, but the translation of a book on Art History provides the following calque variant

<i>Among the founding members of this cooperative-who se original name was the Centre for Advanced Creative Study-one counts Gustav Metzger, the apostle of “auto-destructive art.»</i> [7, С. 374]	<i>Среди членов-учредителей этого кооператива, первоначально называвшегося Центром перспективных творческих исследований, фигурировал Густав Метцгер, апостол «саморазрушающего искусства»</i> [4, С. 423].
---	---

One more example of calque translation of a term not registered in the dictionaries but found in speech is the term *concrete art*:

Concrete art - *Term applied to abstract art that repudiates all figurative reference and uses only simple geometric forms. The term was coined by van *Doesburg, who in 1930 issued a manifesto entitled Art Concret, disguised as the first number of a review (no other numbers*

*were issued), in answer to the formation of the *Cerclelet Carre association, to which he had been vigorously opposed. Max *Bill gave the following definition: ‘Concrete painting eliminates all naturalistic representation; it avails itself exclusively of the fundamental elements of painting, the colour and form of the surface. Its essence is, then, the complete emancipation of every natural model; pure creation’* [6, С. 115].

Enthusiasts of Bill’s “ <i>Concrete Art</i> » (in which everything had to be planned by arithmetic calculations) suddenly flooded the tiny Brazilian art world, which had been, until then, recalcitrant toward modern art. [7, С. 365]	Поклонники биллевского « <i>конкретного искусства</i> » (где все подчинялось арифметическим расчетам) неожиданно наводнили крошечный художественный мир Бразилии, до того упорно не принимавший современного искусства. [4, С. 416]
An odor of crushed strawberries, a letter from a friend, or a billboard selling Drano; three taps on the front door, a scratch, a sigh, or a voice lecturing endlessly, a blinding staccato flash, a bowler hat - all will become materials for this new <i>concrete art</i> . [7, С. 440]	Запах раздавленной земляники, письмо от друга, билборд с рекламой «Драно», три стука во входную дверь, царапина, вздох или голос, читающий нескончаемую лекцию, мгновенная ослепляющая вспышка, шляпа-котелок - все станет материалом для этого нового <i>конкретного искусства</i> . [4, С. 49]
Some modern abstract artists use terms such as <i>concrete art</i> or non-objective art, but in practice the phrase abstract art is commonly used and the distinction between the two is not always obvious. [9]	Некоторые современные абстракционисты используют такие термины, как « <i>конкретное искусство</i> » или «беспредметное искусство», но на практике обычно используется термин «абстрактное искусство». [10]

Another example is the following calque translation of an author nomenclature unit:

Blaue Reiter [5, С. 3] => *Blue Rider* – «*Синий всадник*» (*объединение художников-экспрессионистов в Мюнхене (1911-14)*) [2, С. 155].

Here it should be noted that while the monolingual English Dictionary of Art Terms

provides the German variant and does not even mention the English one, the English-Russian dictionary deals only with the English calque (*The Blue Rider*). On the level of speech, the original text in English can give two variants, the German one and the English one, and the Russian translation includes only the Russian calque:

<i>In early 1912 he wrote his Russian colleague Wassily Kandinsky (1866-1944), with whom he had founded the association of artists Der Blaue Reiter (The Blue Rider) in Munich in 1911 : «I am just reading Worringer’s Abstraktion und Einfühlung [Abstraction and Empathy] , a good mind, whom we need very much. Marvelously disciplined thinking, concise and cool, extremely cool.»</i> [7, С. 80]	<i>В начале 1912 года он писал своему русскому коллеге Василию Кандинскому (1866-1944), совместно с которым в 1911 году основал в Мюнхене художественное объединение «Синий всадник»: «Читаю «Абстракцию и вчувствование» Воррингера: превосходный ум, в котором мы так нуждаемся. Удивительно дисциплинированное мышление, немногословное и холодное, в высшей степени холодное»</i> [4, С. 87].
---	---

The calque translation is the most frequent one in translating consubstantial terms and one of the most productive ways when dealing with word combinations; it accounts for approximately 42% of translations, based on the dictionaries and a number of books and articles on Art.

Yet most often the author terms of Art are not consubstantial and thus the calque and the equivalent translation do not suit the purpose. In such cases, the translator may use loan borrowing, which is the most productive strategy in English-into-Russian author term translation.

There are two main ways of loan borrowing: **transcription** and **transliteration**.

The first, **transcription**, involves transcribing the source terms, i. e. rendering the sound of a lexical unit by means of the target language. The examples include:

Tachisme - **ташизм** [2, С. 543];

Fauvism - **фовизм** [2, С. 448];

Junk art – **джанк-арт** [2, С. 82];

Cloisonnism [6, С. 110] - **Клуазоннизм** (*стиль живописи, в которой области ярко, плоского цвета разделены темным контуром, подобно витражам в перегородчатой эмали*) [3, С. 30];

Bakelite– **бакелит** (*синтетический полимер*) [2, С. 114].

Yet another example of transcription is the term **assemblage**, which has two variants, according to the dictionary:

Assemblage - Term coined in the 1950s by Jean *Dubuffet to describe works of art made from fragments of natural or preformed materials, such as household debris. The term is not usually employed with any precision and has been used to embrace *photomontage at one extreme and room *environments at the other. It gained wide currency with an exhibition called 'The Art of Assemblage' staged at the Museum of Modern Art, New York, in 1961 [6, С. 29];

Assemblage - **Ассамбляж, скульптура-коллаж** (*абстрактная композиция, состоящая из необычных материалов*) [2, С. 93].

The dictionary gives two variants – transcription and generalization. In such case it is necessary to turn to the level of speech to find that the translation of assemblage as **ассамбляж** is quite popular, while **скульптура-коллаж** is so rare that it could not be found:

Pablo Picasso, Bull's Head, 1942 <i>Assemblage</i> (bicycle seat and handlebars). [7, С. 33]	Пабло Пикассо. Голова быка. 1 942 Ассамбляж : велосипедные седло и руль. [4, С. 39]
Given that signs are defined by their opposition to other signs within a given system, anything can stand for anything else if it conforms to the rules of the system in question. Using the handlebar and seat of a bicycle, Picasso remains within the realm of representation, defining the minimum required for a combination of disparate elements to be read as the horned head of a bull, while at the same time demonstrating the metaphoric power of <i>assemblage</i> . [7, С. 33]	Используя седло и руль велосипеда, Пикассо остается в пределах фигуративности: с помощью минимума средств он составляет разнородные элементы так, чтобы в них можно было узнать рогатую голову быка, и в месте с тем демонстрирует метафорическую силу ассамбляжа . [4, С. 39]
Perhaps we should also ask what Rubin's approach to Dada was-for Dada was also included in his exhibition and its catalogue, "Dada, Surrealism, and Their Legacies." Not to belabor the point, but he did the same thing to the Dada legacy that he did to Surrealism: it became a constellation of astonishing objects and <i>assemblages</i> . [7, С. 319]	Может быть, стоит коснуться и подхода Рубина к дадаизму, который также был представлен на его выставке и в каталоге «Дада, сюрреализм и их наследие. Я не хочу в это углубляться, но, по-моему, с дадаизмом он сделал то же самое: представил его как коллекцию причудливых объектов и ассамбляжей . [4, С. 361]

Furthermore, the Russian Corpora provides 4 cases of using the term **ассамбляж** and 0 cases of the **скульптура-коллаж** [8]; thus, it can be stated that for this term transcription is definitely the main translation strategy.

The second type of loan borrowing is **transliteration**, which involves rendering the

spelling of a source term by means of the target language, for example:

Post-Impressionism - **постимпрессионизм** [1, С. 280];

Dripping – **дриппинг** (*прием, типичный для художников абстрактного экспрессионизма, когда художник поливает холст краской*) [2, С. 390];

Automatism – **автоматизм** (исключение сознания из творческой деятельности художника) [2, С. 105];

Vorticism – **вортуизм, вортицизм** (кратковременное направление в английской литературе и живописи в 1912-15) [1, С. 614].

Sometimes the expression plane of a term is changed to suit the grammar system of the target language. For example, the term **deconstruction** is translated not as **деконстракин**, but as **деконструкция**:

Deconstruction - **деконструкция, деконструктивизм** [1].

Another reason for changing the expression plane is to suit the tendencies of the target language terminological system. For example, since in Russian terminology of Art the terms denoting Art movements tend to be coined with the suffix ‘-ism’ rather than through word combination with the word **искусство**, **minimal art** is translated in two different ways:

Minimal Art I - **минимальное искусство** [3, С. 97];

Minimal Art II - **минимализм** [1, С. 34].

The strategies of transcription and transliteration are highly productive for author term translation, as there is a tendency to globalization among modern linguists. The percentage of transcribed and transliterated terms is roughly 32% and 26% consequently.

The last 7% include terms translated through other techniques, and namely: **generalization, transposition, descriptive translation**.

For example, the **generalization** translation of the term **assemblage** is used more rarely than the transcription variant, but it is nevertheless used in translation of texts designed for layman:

Assemblage- **Ассамбляж, скульптура-коллаж** (абстрактная композиция, состоящая из необычных материалов) [2, С. 93].

Trojan Horse – Mixed Media **Assemblage** – Angelo Finamore [12]

Скульптура-коллаж «Троянский конь» художника Анжело Финаморе

One of the examples of the **generalization** is the term **hard-edge [painting]**:

Hard Edge painting - term applied to a type of painting (predominantly abstract) in which forms, although not necessarily geometrical, have sharp contours and are executed in flat colours. The term was coined by the American critic Jules Langsner in 1958, and although it can be retrospectively applied to such styles as *Purism, it is used mainly of the type of painting that emerged as a reaction to the spontaneity and painterly handling of * Abstract Expressionism. Major exponents of Hard Edge painting have included Ellsworth *Kelly and Kenneth *Noland [6, С. 229];

Hard-edge I – **резкий** (об абстрактной живописи);

Hard-edge II (painting) – **произведение абстрактной живописи** (с резкими очертаниями и насыщенными цветами);

Hard-edger – **уличный художник** (особ. Художник-абстракционист) [2, С. 329];

Indeed, **hard edge painting** is abstract painting, but it is only a sub-movement of abstract painting, according to the definition.

Yet another translation technique is descriptive translation, i. e. translation of a term by means of a group of words explaining its meaning, for example:

Popart - **поп-арт, искусство в стиле «поп»** [3, С. 120].

The main drawback of the technique is that it is not as laconic as the previous ones. The brief explanations of the terms (see pp. 2-3) were not included in the statistics as they are rarely used on the speech level and are adduced to many terms not as the main translation equivalent.

One more technique is **transposition**, i. e. the process where parts of speech change their sequence when they are translated [11]. For example, **the action painting** (NOUN functioning as an attribute + NOUN) is translated either as **живопись действия**, живопись жеста (NOUN + NOUN in the genitive case) or as **активная живопись** (ADJECTIVE+ NOUN):

The Action Painting – «живопись действия», «живопись жеста», «активная живопись» (форма абстрактного экспрессионизма, акцентировавшая значение физического действия в живописи) [1, С. 189].

Here it should be pointed out that the most frequent variant of translation is the first one, живопись действия:

<p><i>A particularly significant record of Abstract Expressionism at the very moment of its coalescence as a movement—because it encapsulates the shift from the automatic to the autographic—is provided by the first, and only, issue of Possibilities, published at the end of 1947 by Motherwell and the critic Harold Rosenberg (who would & later father the label “action painting» [7, С. 339]</i></p>	<p><i>Особенно важным свидетельством об абстрактном экспрессионизме периода его сплочения является суммирующий этот переход от автоматического к автографическому первый и единственный номер журнала «Возможности» («Possibilities»), выпущенный в конце 1947 года Мазеруэллом и критиком Гарольдом Розенбергом (тем самым, который позднее ввел термин «Живопись действия») [4, С. 384]</i></p>
<p><i>Поллок давал краске стекать каплями с толстых кистей и дырявых жестяных банок на холст, лежащий на полу, разбрызгивал краску взмахом руки и бегал по своим картинам вновь и вновь, подобно маленькому дервишу— все это сложно было назвать «живописью» в традиционном смысле. В связи с этим один критик дал достаточное название его творчеству — «живопись действия» [10]</i></p>	<p><i>When Pollock let the paint drip from thick brushes and pierced tin cans on to the canvas lying on the floor, when he threw and sprayed the paint with wild swings of his arm, and ran across his painting over and over again like a little dervish, one could not really speak of «painting» in the traditional sense. For this reason, one critic called his work, appropriately enough, «Action Painting» [9]</i></p>

Since author terms rarely have just one authorized translation variant, different dictionaries give different translations based on various strategies; on the level of speech terms can be translated by various strategies even within the framework of one text. For example, in the dictionary by A. A. Azarov the term **non-objective** [art] is translated through the selection of the corresponding lexical equivalent:

Nonobjective – абстрактный, нерепрезентативный (не изображающий реальных предметов); non objective art forms without any reference to reality – абстрактные

художественные формы, не имеющие связи с реальностью [1, С. 148].

In the dictionary by E. A. Tokmina, though, the term is translated through calquing:

Non-objective art – беспредметное искусство [3, С. 105].

Though one of the dictionaries gives two translations based on the selection of cultural equivalents, and another dictionary gives a calque translation, the translator of a book on Art, in one case, used the calque variant and, in the other case, chose to use a method of changing the part of speech, or **transposition**:

<p><i>The Museum of Non-Objective Painting (the first incarnation of the Guggenheim Museum, opened by Solomon R. Guggenheim and Baroness HillaRebay von Ehrenweisen in 1939), and the Barnes Foundation (established by Albert C. Barnes near Philadelphia in 1922, though not opened to the public in his lifetime). [7, С. 216]</i></p>	<p><i>Музей беспредметной живописи (так поначалу назывался Музей Гуггенхайма, открытый в 1939 году Соломоном Р. Гуггенхаймом и баронессой Хиллой Ребе фон Эренвайзен) и Фонд Барнса (основанный Альбертом К. Барнсом близ Филадельфии в 1922 году, но открывшийся для публики лишь после смерти коллекционера) [4, С. 235]</i></p>
<p><i>II. As in the case of Cercle et Carre and of Abstraction-Creation, which appeared in Paris in 1930 and 1932 and which, like Circle, were used as platforms to organize exhibitions, most of the recent art reproduced by Gabo and his acolytes represents a middle-brow, academicized version of geometric abstraction that has no programmatic characteristic other than that of being «non-objective,» to use the vocabulary of the period. [7, С. 282]</i></p>	<p><i>Подобно журналам «Круг и квадрат» и «Абстракция - Творчество», вышедшим в Париже в 1930 и 1932 годах (тоже в качестве выставочных платформ), труд Габо и его соратников представил под рубрикой современного искусства по большей части рутинную академизированную версию геометрической абстракции, чьей единственной программной характеристикой была, говоря на языке того времени, «беспредметность». [4, С. 313]</i></p>

Thus, the most productive techniques of author term translation are calque translation (42%) and loan borrowing (transcription (32%) and transliteration (26%)), the latter two becoming more and more popular due to the tendency of globalization. Less productive term translation strategies (the selection of functional equivalent, generalization, descriptive translation) are also used. One of the main specific features of author term translation is absence of author translation equivalents.

Библиографический список / References

1. Азаров, А.А. Англо-русский энциклопедический словарь искусств и художественных ремесел. Т. 2 / А.А. Азаров. – М.: Флинта, 2007.
Azarov A.A. Anglo-russkiy entsikopedicheskiy slovar' iskusstv i khudozhestvennykh remesel. T. 2. [English-Russian Dictionary entsikopedichesky Arts and Crafts], V. 2, Moscow: Flint, 2007.
2. Азаров, А.А. Англо-русский энциклопедический словарь искусств и художественных ремесел. Т. 1 / А.А. Азаров. – М.: Флинта, 2007.
Azarov A.A. Anglo-russkiy entsikopedicheskiy slovar' iskusstv i khudozhestvennykh remesel. T. 1. [English-Russian Dictionary entsikopedichesky Arts and Crafts], V. 1, Moscow: Flint, 2007.
3. Токмина, Е.А. Искусство: англо-русский и русско-английский словарь / Е.А. Токмина. – Ростов-на-Дону: Феникс, 2009.
Tokmina E.A. Iskusstvo: anglo-russkiy i russko-angliyskiy slovar' [Arts: English-Russian and Russian-English dictionary], Rostov-on-Don: Phoenix, 2009.
4. Фостер Хэл Искусство с 1900 года: модернизм, анти-модернизм, постмодернизм / Фостер Хэл, Краусс Розалинд. – М.: «Ад Марингем Пресс», 2015.
Foster Khel, Rosalind Krauss. Iskusstvo s 1900 goda: modernizm, antimodernizm, postmodernizm [Foster Hal Arts since 1900: Modernism, anti-modernism, post-modernism], Moscow: Ad Maringem Press, 2015.
5. Michael Clarke. Oxford Concise Dictionary of Art Term. – Oxford: Oxford University Press, 2010
6. Ian Chilvers, Harold Osborne, Dennis Farr, The Oxford Dictionary of Art, Oxford: Oxford University press, 2004
7. Foster Hal, Rosalind Krauss. Art since 1900: modernism, antimodernism, postmodernism. – London: Thames and Hudson, 2004
8. <http://search2.ruscopora.ru>
9. <http://art.biz/blog/abstract-expressionism/>
10. <http://art.biz/ru/blog/abstract-expressionism/>
11. <http://www.interproinc.com/blog/translation-techniques>
12. http://pikabu.ru/story/skulpturakollazh_troyanskiy_kon_khudozhnika_anzhelo_finamore_3606109

STRATEGIES OF AUTHOR TERMS TRANSLATION

Kosarina A.A., Faculty of Philology, Lomonosov Moscow State University⁽¹⁾; **Fedotova A.Ye.**, Faculty of Philology, Lomonosov Moscow State University⁽¹⁾

alexa7979@yandex.ru

⁽¹⁾Lomonosov Moscow State University, Faculty of Philology, Russia, 119991, Moscow, 1-51 Leninskiye Gory, GSP-1, 1st Corps Humanitarian faculties

The main specific features of the translation of author terms depend on the specific features of the author terms themselves. Such terms, being mostly neologisms, often have various spelling or meaning variations and more often than not do not have translations fixed in English-Russian dictionaries. A great number of author terms have a variety of translations, which is the result of different strategies and techniques. The most productive techniques of author term translation are calque translation (42 %) and loan borrowing (transcription (32 %) and transliteration (26 %)), the latter two becoming more and more popular due to the tendency of globalization. Less productive term translation strategies (the selection of functional equivalent, generalization, descriptive translation) are also used. One of the main specific features of author term translation is absence of author translation equivalents.

Keywords: author terms, English terminology, terminology translation, author term translation, translation techniques.

СИСТЕМА ПРАВА В АНГЛИИ И АМЕРИКЕ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

А.А. КОСАРИНА, МГУ им. М.В. Ломоносова⁽¹⁾,
А.Е. ФЕДОТОВА, МГУ им. М.В. Ломоносова⁽¹⁾

alexa7979@yandex.ru

⁽¹⁾ФГБОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова, филологический факультет
119991, Москва, Ленинские горы, ГСП-1, 1-й корпус гуманитарных факультетов

Система правовых отношений, принятая в той или иной стране, напрямую зависит от многочисленных факторов, таких как развитие страны на протяжении истории, культурные особенности территории, принятые обычаи и традиции и др. На сегодняшний день известны две наиболее распространенные системы права – римское право и противопоставленное ему англосаксонское право. Римское право принято в европейских странах, в то время как англосаксонское – в Англии и США. Статья ставит целью разграничить между собой особенности англосаксонского права в Англии и США, выявив особенности права в каждой из вышеперечисленных стран. Помимо этого, большой упор делается на прослеживание исторического процесса возникновения правовых отношений в Англии, что в конечном итоге и привело к становлению англосаксонского права.

Ключевые слова: право, римское право, англосаксонское право, историческое развитие, система права.

The system of law in different countries differs depending on numerous factors, such as development of a certain country throughout the history, cultural specific features, accepted customs and traditions, etc. Nowadays there are two main legal traditions in the world – Civil Law and Common Law, the former accepted in Europe and Russia, the latter – in England and the USA. At the first glance it may seem, that Common Law system in America and in England is quite the same, however, if one looks closer at the subject, certain differences will come to light. The given article seeks to highlight these differences and to trace the process of development of Common Law system in England.

Civil Law is a legal system which developed in continental Europe at almost the same time as Common Law and was applied in the colonies of European imperial powers such as Spain and Portugal. Civil Law is codified. Countries with Civil Law systems have continuously updated legal codes that contain all matters applicable in legal procedures. Civil Law is also used in the Russian Federation. The Russian Civil Law system was borrowed from the Roman Law through Byzantine tradition. In the 18th-19th cc. it was under strong influence of German and Dutch norms. During the Soviet period, certain modifications of the Socialist style took place and since the 1990s the Russian Civil Law system has been under the influence of the Continental European Law.

Common Law is used in England, Wales and Northern Ireland in the UK, the Republic of Ireland, the USA, Canada and many other English-speaking countries. Many Russian and foreign scholars have studied the historical aspects of English Contract Law, for example: K.K. Yaichkov, A.S. Komarov, I.V. Beklenisheva, A.D. Koretsky, R.O. Halfina, V. Anson, F. Pollok, E.A. Farnsworth, and others [1-8].

Common Law is not codified. It is based on the doctrine of precedence: judicial decisions that have been previously made in similar cases. Precedents are binding upon the judges and the court procedure. However, sometimes Common Law relies on statutes, which are legislative decisions. The presiding judge determines what precedents are to be applied to a new case. In consequence, judges play an enormous role in the countries with the Common Law tradition.

As N.G. Sannikov states, “*for historical and other reasons English law developed insulated from the continental reception of Roman law and the civil law emphasis on codification and systematization of law. Hence, the fundamental differences between civil system of law and English common law – differences relating to the very substance of law, its structure, sources of law and even terminology and methodology*” [1, C. 3]. The author points out that English law has developed its own unique doctrines and postulates, such as: trust, estoppels, trespass, etc.

Later some of these notions were accepted by Civil Law countries.

English law is mostly referred to as Common Law, however, it consists of three different systems of law:

- 1) Common Law;
- 2) Equity Law;
- 3) Statutory Law. [1, C. 3]

To understand the distinction between these categories it is necessary to look back and to examine the origins of the English law. According to N.G. Sannikov, English law did not exist at all before the arrival of the Normans in 1066. Until then the *“Anglo-Saxon legal system was based on local communities”* [1, C. 4]. Each area had its own courts and local customs. However, the Normans initiated the process of the centralization of the country, which laid the basis for the emergence of a uniform system of law throughout the country. The members of Curia Regis (King’s Council) were sent from Westminster to all parts of the country to collect taxes, make land records, etc., but with time, their powers became more and more considerable. These commissioners turned into so-called justices, who initially applied local customs during hearings, but then these customs were replaced with the rules applicable to the whole country. Thus, a single pattern of law in England was formed: customs were meticulously studied and analyzed, the unreasonable ones were eliminated and the selected ones were later applied in similar cases. This is how the Common Law of England was created. The courts had emerged by the end of the 13th century and they were known the Courts of (Common) Law and sat at Westminster. [1, C. 4]

Thus, it can be concluded that one of the main features of English Law is that it is custom-based.

However, with time, the Common Law turned out to be a very rigid system: it was almost impossible to see justice from courts. The citizens began to send thousands of petitions directly to the king who could not cope with them and gave them to the Curia Regis. Thus, a committee to hear the petitions was set up. According to N.G. Sannikov, *“the hearings were presided over by the Chancellor and in time petitions were addressed*

to him alone”. In the 15th century, the Court of Chancery was established as the Chancellor was the only one to hear the petitions. Thus, the Equity Law emerged. The Chancellor examined the situation himself and made a decision, which seemed to him to be fair and just. Thus, the second feature of English Law is that this Law is ‘judge-made’. [1, C. 5]

For several centuries, there were two completely independent legal systems in England, which provoked harsh criticism, as the citizens in case they wanted to obtain justice from two courts had to bring two separate actions there. The same situation was observed in case a person brought action to the wrong court – he could not get a remedy until he brought action to the right court. In the 19th century, a reform was made to eradicate the drawbacks of the system. The two courts were merged and every judge could administer both Common Law and Equity Law in his court. The process of bringing actions was also facilitated to the citizens. Still Common Law and Equity Law remained two separate systems, now complementing each other. [1, C. 6]

Statute Law is made by statutes. Statutes are *“the laws passed by legislature or the highest law-making body of a country”* [1, C. 6]. In England, these are the Acts passed by both Houses of Parliament and approved by the Queen. It should be mentioned that Statute Law even now remains incomplete and differs from various Codes in countries with Civil Law system.

Another two categories of law to discuss are Public law and Private law. According to N.G. Sannikov, *“the distinction between these two main spheres of law dates back to the third century AD when it was first introduced by a Roman lawyer Ulpian. This division with the reception of Roman law by civil law countries became the most prominent feature of classification of law in those countries”* [1, C. 10]. In England, as it has already been mentioned, the main division of law is into Common Law and Equity Law, and thus, such categories as public law and private law were not adopted in the country. However, in modern studies this classification is recognized and included in many textbooks on the subject.

Public law regulates the relations between individuals and government, and includes such branches as constitutional and criminal law.

As for the Private law, it deals with the rights and duties of individuals and private disputes between them. Private Law includes such branches as:

- 1) Contract Law;
- 2) Tort Law;
- 3) Property law;
- 4) Trust law;
- 5) Family law;
- 6) Labour law. [1, C. 11]

Moreover, certain attention should be paid to the law system in the USA and especially to its difference from that of England. American law belongs to the Common Law family. It has many common features with English law, such as: divisions of law into common law, law of equity and statutory law, the same branches of law, the doctrine of a precedent, misinterpretation, trust, etc. Still, despite similarities there are considerable differences. When in 1776 America gained independence, its law began to develop independently from that of England, although the country still remained the model for American lawyers. [1, C. 14]

American law is much more codified than English law. According to N.G. Sannikov, *“the first attempts at codification date back to the 18th century and culminated in the promulgation of the Uniform Commercial Code (UCC)”* [1, C. 14]. Nowadays, this code is adopted in all the states except Louisiana, which was a former French colony and derived many law principles from the Napoleon Code.

Another difference consists in the so-called restatements of law. Restatement of law is an attempt taken by an American Law Institute (ALI), a legal organization of distinguished professors, judges and lawyers, in order *“to present an orderly statement of the general common law of the United States, including in that term not only the law developed solely by judicial decisions, but also the law that has grown from the application by the courts of various statutes”*. [11, C. 438]

It should be pointed out that though restatement is not a code, it is often used to

facilitate the process of search for relevant precedents and is intended to be the basis for court’s decisions. It allows American lawyers (unlike English ones) not to cite specific cases, but simply refer to relevant sections of the UCC, or the Restatement, or both.

Thus, it can be concluded that there are two main legal traditions in the world: Civil Law and Common Law, the latter adopted in England and the USA. Common Law is not codified; it is based on the doctrine of the precedent; it is custom-based and ‘judge-made’.

Though English and American Common Law systems are very much alike, there are certain differences. Thus, American Common Law is much more codified compared to the English one, for example, there are restatements of law, which are secondary sources that seek to ‘restate’ the legal rules that constitute the Common Law in a particular area. The American Law Institute has written restatements in 15 law areas including Torts, Contracts, Property, Conflict of Laws, Foreign Relations Law, and Products Liability. Restatements have considerable influence on the judicial process. Many courts have adopted Restatement sections as the law of their jurisdiction. Moreover, many professors of law rely on Restatements in their courses.

Библиографический список

1. Санников, Н.Г. Английское контрактное право / Н.Г. Санников. – М.: Московский государственный лингвистический ун-т, 2004.
2. Бекленищева, И.В. Гражданско-правовой договор: классическая традиция и современные тенденции / И.В. Бекленищева. – М.: Статут, 2006.
3. Комаров, А.С. Ответственность в коммерческом обороте / А.С. Комаров. – М.: Юрид. лит., 1991.
4. Халфина, Р.О. Договор в английском гражданском праве / Р.О. Халфина. – М., 1959.
5. Ансон, В. Договорное право / В. Ансон. – М., 1984.
6. Федорко, М.С. Историко-правовые аспекты формирования и развития концепции договора в английском праве / М.С. Федорко // Вестник Одесского национального университета. – 2008. – Том 13. – Вып. 9.
7. Давид, Р. Основные правовые системы современности / Р. Давид. – М., 1988.
8. Боголюбов, С.А. Язык закона / С.А. Боголюбов, И.Ф. Казьмин, М.Д. Локшина и др. Под ред.: А.С. Пиголкин. – М.: Юрид. лит-ра, 1990.
9. Видерман, М.Е. К вопросу о типологии англоязычных терминов контрактного права / М.Е. Видерман Отв. ред. В.В. Красных, А.И. Изотов. // Язык, сознание, коммуникация: Сб. статей. М.: МАКС Пресс, 2011. – Вып. 42.
10. Gifis S. Law Dictionary. – Barron’s, 1991

THE SYSTEM OF ENGLISH AND AMERICAN LAW: COMPARISON ANALYSIS

Kosarina A.A., Faculty of Philology, Lomonosov Moscow State University⁽¹⁾; **Fedotova A.Ye.**, Faculty of Philology, Lomonosov Moscow State University⁽¹⁾

alexa7979@yandex.ru

⁽¹⁾Lomonosov Moscow State University, Faculty of Philology, Russia, 119991, Moscow, 1-51 Leninskiye Gory, GSP-1, 1st Corps Humanitarian faculties

The system of law in different countries differs depending on numerous factors, such as development of a certain country throughout the history, cultural specific features, accepted customs and traditions, etc. Nowadays there are mainly two legal traditions in the world – Civil Law and Common Law, the former accepted in Europe and Russia, the latter – in England and the USA. At the first glance it may seem, that Common Law system in America and in England is quite the same, however, if one looks closer at the subject, certain differences will come to light. The given article seeks to highlight these differences and to trace the process of development of Common Law system in England.

Key words: law, Civil Law, Common Law, development in history, law system.

References

1. Sannikov N.G. *Angliyskoe kontraktное pravo* [English contract law]. Moscow: Moscow State Linguistic University Press, 2004.
2. Beklenishcheva I.V. *Grazhdansko-pravovoy dogovor: klassicheskaya traditsiya i sovremennye tendentsii* [Civil-law contract: classical tradition and modern trends], Moscow: Statut, 2006.
3. Komarov A.S. *Otvetstvennost' v kommercheskom oborote* [Responsibility in commerce], Moscow: Legal Literature, 1991.
4. Khalfina R.O. *Dogovor v angliyskom grazhdanskom prave* [Agreement in the English civil law], Moscow, 1959.
5. Anson V. *Dogovornoe pravo* [Contract law], Moscow, 1984.
6. Fedorko M.S. *Istoriko-pravovye aspekty formirovaniya i razvitiya kontseptsii dogovora v angliyskom prave* [Historical and legal aspects of the formation and development of the concept of contract in English law], Vestnik Odesskogo natsional'nogo universiteta, 2008, V. 13, no. 9.
7. David R. *Osnovnye pravovye sistemy sovremennosti* [Major legal systems of modernity], Moscow, 1988.
8. Bogolyubov S.A., Kaz'min I.F., Lokshina M.D. *Yazyk zakona* [Law Language], Moscow: Legal Literature, 1990.
9. Viderman M.E. *K voprosu o tipologii angloyazychnykh terminov kontraktного prava* [On the question of the typology of English terms of contract law], Yazyk, soznanie, kommunikatsiya: Digest of articles. Moscow: MAKS Press, 2011, V. 42.
10. Gifis S. Law Dictionary. Barron's, 1991